

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

304

EXPOSÉS DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES

Publiés sous la direction de

L. DE BROGLIE

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel.

VII

LA

"CURRENT SCIENCE,"
RECEIVED.

43.5.56.11.1

PRÉVISION HISTORIQUE

DANS

LA NATURE

PAR

J. DELEVSKY



PARIS

HERMANN ET C^{ie}, ÉDITEURS

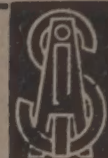
6, Rue de la Sorbonne, 6

1935



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



René AUDUBERT
Directeur de Laboratoire à l'École
des Hautes Études

ÉLECTROCHIMIE THÉORIQUE

J.-P. BECQUEREL
Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle
**OPTIQUE ET MAGNÉTISME
AUX TRÈS BASSES TEMPÉRATURES**

G. BERTRAND
Membre de l'Institut
Professeur à l'Institut Pasteur
CHIMIE BIOLOGIQUE

L. BLARINGHEM
Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
BIOLOGIE VÉGÉTALE

Georges BOHN
Professeur à la Faculté des Sciences
ZOOLOGIE

J. BORDET
Prix Nobel
Directeur de l'Institut Pasteur de Bruxelles
MICROBIOLOGIE

J. BOSLER
Directeur de l'Observatoire de Marseille
ASTROPHYSIQUE

Léon BRILLOUIN
Professeur au Collège de France
THÉORIE DES QUANTA

Louis de BROGLIE
Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel de Physique

**I. PHYSIQUE THÉORIQUE
II. PHILOSOPHIE DES SCIENCES**

Maurice de BROGLIE
de l'Académie Française
et de l'Académie des Sciences
**PHYSIQUE ATOMIQUE
EXPÉRIMENTALE**

D. CABRERA
Directeur de l'Institut de Physique et Chimie
de Madrid
**EXPOSÉS SUR LA THÉORIE
DE LA MATIÈRE**

E. CARTAN
Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
GÉOMÉTRIE

M. CAULLERY
Membre de l'Institut
Professeur à la Faculté des Sciences
BIOLOGIE GÉNÉRALE

L. CAYEUX
Membre de l'Institut
Professeur au Collège de France
GÉOLOGIE

A. COTTON
Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
MAGNÉTO-OPTIQUE

M^{me} Pierre CURIE
Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel de Physique
Prix Nobel de Chimie
**RADIOACTIVITÉ
ET PHYSIQUE NUCLÉAIRE**

Véra DANTCHAKOFF
Ancien professeur à l'Université Columbia
(New-York)
Organisateur de l'Institut
de Morphogenèse Expérimentale
(Moscou Oostankino)

**LA CELLULE GERMINALE DANS
L'ONTOGENÈSE ET L'ÉVOLUTION**

E. DARMOIS
Professeur à la Sorbonne
CHIMIE-PHYSIQUE

K.-K. DARROW
Bell Telephone Laboratories
CONDUCTIBILITÉ DANS LES GAZ

Arnaud DENJOY
Professeur à la Sorbonne
**THÉORIE DES FONCTIONS
DE VARIABLE RÉELLE**

J. DUESBERG
Recteur de l'Université de Liège
**BIOLOGIE GÉNÉRALE
EN RAPPORT AVEC LA CYTOLOGIE**

CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE

B. S. Mohan Rao

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

304

EXPOSÉS DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES

Publiés sous la direction de

L. DE BROGLIE

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel.

LA
PRÉVISION HISTORIQUE
DANS
LA NATURE

PAR

J. DELEVSKY



PARIS
HERMANN ET C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

—
1935

PARU DANS LA MÊME SÉRIE

N° 68. — I. *Réel et Déterminisme dans la Physique Quantique*, par
ÉMILE MEYERSON..... 10 fr.

N° 173. — II. *Structure de la Pensée et Définitions expérimentales*,
par PAUL RENAUD, chimiste..... 7 fr.

N° 184. — III. *La Causalité des Théories Mathématiques*, par
GEORGES BOULIGAND, Professeur à l'Université de Poitiers..... 12 fr.

N° 200. — IV. *La Notion de Liberté et la Crise du Déterminisme*, par
R.-S. LACAPE, Ingénieur civil..... 10 fr.

N° 224. — V. *La Logique et l'Empirisme intégral*, par JULIEN
PACOTTE..... 12 fr.

N° 283. — VI. *La Méthode dans la Mécanique des Quanta* (Axioma-
tique, Déterminisme et Représentations), par M. RENÉ DUGAS, Ingénieur
au Corps des Mines 12 fr.

N° 304. — VII. *La Prévion Historique dans la Nature*, par J. DE-
LEVSKY..... 12 fr.

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1935 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie},
PARIS.



LA PRÉVISION HISTORIQUE DANS LA NATURE

I

La prévision est un des buts essentiels de la science. Si elle ne constitue pas sa tâche exclusive et primordiale, — car en ce cas il n'y aurait pas de science dans les domaines où la prévision est irréalisable ou n'est pas encore réalisable, — elle apparaît comme un idéal de recherche scientifique partout où la possibilité de prévoir est admise. Une prévision exacte témoigne de la perfection de la théorie scientifique. Elle sert à vérifier les hypothèses, atteste l'exactitude des lois qu'on établit, confirme et justifie les diagnostics, et sert de base à toute technique. On connaît la formule d'Aug. Comte : « Savoir pour prévoir, prévoir pour agir. »

Toutes les prévisions ne sont pas des prévisions historiques. L'histoire englobe les complexes concrets et individuels qui peuvent changer *dans le temps* ou rester invariables pendant *quelque temps*. Une réalité, indépendante du *temps*, n'a pas d'histoire, et une prévision annonçant qu'une pareille réalité persistera dans son état actuel n'est pas une prévision historique. On ne fait pas, par exemple, une prédiction historique si l'on affirme que les rapports énoncés dans les lois logiques ou mathématiques se justifieront toujours dans un monde où elles s'appliquent. Il est facile de prédire que la somme des angles intérieurs d'un triangle, dans un espace euclidien, sera toujours égale à deux droits; mais l'espace euclidien n'a pas d'histoire. D'autre part, toute la physique offre la possibilité de prévision dans un complexe où cette loi agit, prévision exprimant la valabilité de cette loi. Mais cette

prévision ne sera prévision historique que si elle s'applique à un cas concret et individuel situé dans l'espace et le temps. Ainsi, la solution d'un problème mécanique abstrait et général fournit une prédiction qui, en tant que générale, n'est pas une prédiction historique. Mais l'application des lois de la mécanique au calcul du mouvement d'un astre déterminé peut donner les éléments d'une prédiction historique concernant l'histoire du mouvement de cet astre dans l'avenir.

La prévision historique est liée à *la succession dans le temps*. C'est un *pronostic*. Elle ne doit pas être confondue avec le *diagnostic*, qui exprime une *coexistence* de faits, de caractères, de propriétés. Le diagnostic permet de déterminer certaines propriétés et le caractère général d'un corps, d'un système, d'un état par la constatation de certaines propriétés visibles et connues, mais coexistantes avec d'autres propriétés « invisibles » ou inconnues. On examine, par exemple, un minéral. Ses propriétés visibles, observables ou mesurables, comme sa forme cristallographique, sa couleur, sa dureté, etc., permettent de le *déterminer*, c'est-à-dire de le faire entrer dans une classe de minéraux plus ou moins parfaitement étudiés et d'établir ainsi sa composition chimique, sa structure intérieure et toute une série d'autres caractères. De même par un os ou par un organe on *détermine* souvent le squelette et généralement l'organisme entier d'un animal. Par les symptômes d'une maladie, par des analyses, des mesurations, des auscultations, on *détermine* cette maladie. Ce sont des *diagnostics* : les constatations qu'ils fournissent ne forment, par elles-mêmes, aucune prévision, ou pronostic concernant une certaine succession dans le temps et ayant trait à l'avenir du système considéré.

Toutefois, certains diagnostics peuvent servir de base à des pronostics, ou prévisions. Ainsi, lorsque les observations ont établi qu'une maladie parcourt une évolution déterminée, le diagnostic permet de prévoir l'histoire de cette maladie. Dans le système périodique d'éléments chimiques de Mendéléieff, dans chaque case, pour un certain numéro, dit « nombre atomique », figure un élément (parfois un groupes d'éléments, isotopes ou non). Du moment que la situation d'un élément dans une case numérotée est déterminée, le diagnostic de cet élément, permettant de conclure à un certain nombre de ces propriétés, est donné. Si une case reste vide, cela signifie qu'il existe un élément encore inconnu corres-

pendant à cette case (par exemple les éléments 85 et 87, dont la découverte n'est encore tout à fait certaine); c'est encore un diagnostic. Mais du fait de ce diagnostic, l'existence d'une case vide permet de prévoir que les recherches scientifiques amèneront la découverte de l'élément qui doit l'occuper. Pareilles prévisions se sont trouvées plusieurs fois confirmées dans l'histoire de la chimie moderne.

Toute prévision scientifique se base sur une *loi de répétition*. Si l'on croit possible de formuler une prévision, c'est parce que, *dans le passé*, on a observé qu'un événement a suivi un certain état de choses ou certain ensemble de circonstances; on en conclut que, *dans l'avenir*, la répétition du même état amènera la répétition du même événement. Toute prévision s'appuie sur l'application du principe de l'*induction*. Toute formule de prognose implique le caractère valable des deux prémisses : identité dans la répétition des états; identité dans le caractère de manifestation de la causalité.

Dans un monde où des combinaisons se répèteraient identiquement et où régnerait un déterminisme toujours le même, la prévision la plus rigoureuse serait possible. Dans un monde chaotique, sans répétition ni causalité, aucune prévision ne serait possible. Dans un monde situé par sa nature entre ces deux extrêmes diamétralement opposés les prévisions ne pourraient être que limitées, approximatives, ou faites sous réserves.

Le principe de causalité exige qu'à l'identité de la cause corresponde l'identité de l'effet. Dans un monde sans répétitions le déterminisme causal perd sa signification réelle. Dans un monde où des répétitions se présentent, elles permettent de réaliser la prévision si les phénomènes obéissent à un déterminisme causal rigoureux. Dans ce cas, il s'agit d'établir des antécédents pour prévoir une répétition.

Si l'identité est absolue, la prédiction sera rigoureuse, inconditionnée et sans réserves. S'il n'y a pas de certitude concernant le fait de l'identité, la prédiction ne peut être énoncée que sous réserves. Pour qu'elle soit rigoureuse, elle peut prendre une forme conditionnelle : l'événement se produira, *si* telles ou telles conditions sont réalisées.

En général, la prévision scientifique peut être *conditionnée* ou *inconditionnée*. Elle est conditionnée, si la réalisation d'un événement est prédite non de façon absolue, mais comme subordonnée

à la réalisation de certaines conditions. Elle est inconditionnée, si, dans une combinaison concrète et individuelle, l'avenir est prédit sans aucune réserve, les conditions mêmes nécessaires pour que l'événement s'accomplisse à un certain moment étant déjà réalisées.

Si un corps pesant tombe librement d'une certaine hauteur, il atteindra le sol en tant de secondes et avec une vitesse de tant de mètres suivant la hauteur de la chute. Voilà un exemple de prévision conditionnée.

Dans un endroit donné un projectile est lancé verticalement de bas en haut avec une vitesse initiale de 98 mètres par seconde. On prévoit, par le calcul, que (sauf quelques corrections), le projectile atteindra après 10 secondes la hauteur de 490 mètres, après quoi il commencera à tomber, pour arriver jusqu'au sol en 10 secondes. Voilà un exemple de prognose inconditionnée.

La question qui nous intéresse surtout est celle-ci : les prévisions historiques inconditionnées et en même temps rigoureuses sont-elles possibles, et dans quelle mesure?

Cette question se pose dans tous les domaines de l'histoire; histoire dans la nature et histoire humaine. Suivant le domaine de l'histoire étudié interviennent surtout tantôt la considération de l'identité des répétitions, tantôt celle du déterminisme causal, tantôt la technique de la prognose, tantôt la nature intrinsèque même de la réalité historique posant des limites quelconques à la prévisibilité.

Dans le domaine de la science exacte la prévision historique se réalise suivant trois procédés connus, qui, tous, résident sur des répétitions, mais de différente nature : répétition de cycles périodiques réguliers; répétition de rapports; répétition irrégulière de processus semblables dont les phases initiales, établies par une observation élémentaire et immédiates ou un diagnostic plus ou moins soigneux, laisse prévoir la suite de phases subséquentes d'un même processus.

Les planètes et les comètes périodiques accomplissent leurs révolutions suivant des orbites elliptiques et les durées de ces révolutions sont connues; une révolution accomplie, ces astres reviennent aux mêmes situations par rapport au Soleil (sauf les perturbations). Les éclipses du Soleil et de la Lune, de même que les variations d'éclat des étoiles binaires à éclipses, se renouvellent régulièrement après certaines périodes. Les taches du Soleil, les

changements de l'éclat intrinsèque des étoiles variables non doubles et les variations du magnétisme terrestre se renouvellent, quant à l'intensité, périodiquement; pour les taches du Soleil et les variations du magnétisme terrestre la durée de la période est de 11, 16 années (sauf variations des ordres supérieurs). Voilà des exemples de *cycles de répétition périodiques réguliers* qui permettent de formuler des prévisions scientifiques, dans les faits qui se renouvellent, de façon régulière, périodiquement.

Une comète non périodique suit une trajectoire parabolique ou hyperbolique. La comète s'approche d'abord du Soleil, atteint son périhélie et puis, selon la conception de Laplace, s'éloigne dans les abîmes de l'espace infini, pour ne revenir peut-être plus jamais dans notre système solaire. Elle n'occupe jamais deux fois la même situation par rapport au Soleil; son mouvement n'est pas périodique. Et, toutefois, la Mécanique Céleste permet de calculer d'avance la situation de la comète à un moment quelconque de son mouvement futur. Comment cette prognose est-elle réalisable? En raison de la répétition d'un rapport dans son mouvement, ce rapport exprimant la loi d'attraction newtonienne (attraction inversement proportionnelle au carré de la distance). — Une substance radioactive, contenant par exemple un centigramme de radium, et seulement ce radium comme matière radioactive, est laissée tranquillement dans un laboratoire pour une durée indéterminée. On peut prédire qu'au bout d'un siècle cette substance perdra six pour cent de son radium, et que dans 1.700 ou 1.800 ans il n'y restera plus que 5 milligrammes de radium. Il y a ici une transmutation ininterrompue du radium, laquelle, suivant la théorie classique, n'est pas réversible: jamais la substance radioactive ne reviendra à un état antérieur, car les atomes du radium se décomposent sans retour¹. Le phénomène n'est pas ici non plus périodique. Mais la prévision scientifique se base ici sur la répétition d'un rapport dans la vie du radium, ce rapport exprimant la loi de « la survie » du radium suivant une fonction exponentielle. Voilà des exemples de *phénomènes apériodiques*, dans lesquels la possibilité d'une prévision découle de la répétition d'un rapport.

Une intoxication spécifique s'est déclarée dans un organisme.

1. Comp. J. Delevsky, *L'âge du monde et l'évolution de la matière*, « L'Astronomie », juin 1935, p. 268.

C'est un événement fortuit qui, chez un être vivant, n'a aucun caractère de périodicité cyclique régulière ni de répétition régulière d'un rapport quelconque. L'apparition de la maladie dans ce cas individuel est due au hasard. Mais de pareils cas se produisaient déjà antérieurement dans d'autres organismes, toujours sans aucune régularité. On a observé qu'une fois déclanchée chaque intoxication suit une évolution déterminée qui se manifeste par une succession d'états caractéristique. Et du moment que le diagnostic d'intoxication dans le cas actuel est établi, on peut prévoir la suite de la maladie. Voilà un exemple de la prévision de troisième espèce appliquée à des phénomènes à répétition irrégulière, mais présentant un processus d'évolution connu.

Les mêmes procédés peuvent être appliqués pour réaliser la prognose dans le domaine de l'histoire humaine. On a cherché, en effet, à s'appuyer, dans la prognose historique politico-sociale, sur les conceptions de cycles périodiques, de mouvements unidirectionnels, de processus à évolution semblable. Avant d'analyser les perspectives et les aboutissements de la prévision appliquée à l'histoire humaine, il convient d'étudier de plus près les particularités de la prévision concrète que connaît l'histoire dans la nature.

La prévision est-elle également rigoureuse, efficace, inconditionnée dans les domaines de cette histoire dans la nature? Les différents domaines de la réalité historique diffèrent quant à la complication des lois et des phénomènes, au rôle du hasard, au caractère du déterminisme causal et, en particulier, à l'intervention possible d'une volonté raisonnante (par exemple l'homme). En ce qui concerne l'histoire dans la nature, la prévision sera d'autant plus parfaite — d'autant plus rigoureuse, efficace et inconditionnée — que le domaine considéré sera plus simple, moins dominé par le hasard et moins accessible à l'intervention active d'un être raisonnable. Par contre, plus un domaine historique est complexe, plus il est soumis à l'action du hasard et plus il est accessible à l'intervention active de l'homme, plus la prognose historique dans ce domaine portera un caractère approximatif, conditionné et d'efficacité limitée. Dans divers cas, la réalisation de l'idéal de la prognose historique se heurtera tantôt à des difficultés d'ordre technique, tantôt à des oppositions et des limitations découlant de la nature intrinsèque des choses et de la causalité spécifique de la réalité en question.

Le principe fondamental qui préside à l'étude du problème de la prognose historique exprime le caractère essentiel de l'histoire dans le monde : pas de répétitions absolument identiques dans l'univers qui varie dans l'espace et le temps. Les répétitions ne sont que semblables, et le degré de similitude des répétitions varie dans divers domaines de la réalité historique. Il en résulte que toutes les prédictions, dans le domaine de l'histoire, sont, à proprement parler, approximatives, conditionnées et limitées. On se trouve dans le champ de *probabilités*. Pratiquement, les prévisions dont les caractères de haute probabilité font des quasi-certitudes sont considérées comme rigoureuses. Selon l'aphorisme de Jacques Bernouilli, *in usu vitæ civili moraliter certum pro absolute certo habetur* (dans la pratique de la vie, ce qui est moralement certain est considéré comme absolument certain). Les trois procédés de prognose indiqués, surtout les deux premiers, présentent une certaine efficacité dans quelques domaines historiques. Dans d'autres domaines les prévisions historiques sont moins rigoureuses, moins certaines et assez limitées. On se trouve devant une gamme de probabilité variant entre une certitude quasi parfaite et une impossibilité pratique de prévoir.

II

Dans le domaine de la science exacte, on réalise ou on cherche à réaliser la prognose historique dans l'astronomie, la géologie, la météorologie, la biologie. Il s'agit ici de la prévision *inconditionnée*, car la prévision conditionnée, qui correspond à la substance de toutes les lois naturelles (elle s'exprime par la formule : *si* certaines combinaisons, naturelles ou artificielles — dans le laboratoire — sont réalisées, elles sont suivies d'un effet déterminé), embrasse une partie essentielle de toutes les disciplines de la science exacte. La prognose historique, au sens spécifique du terme, consiste en la prévision absolue et *inconditionnée* d'événements futurs, prévision non soumise à aucune condition.

L'astronomie reste, depuis l'antiquité, le domaine classique et, pour ainsi dire, idéal de la prévision scientifique, rigoureuse et *inconditionnée*. Un système de cycles parfaits dans le système solaire, qui sont de cycles périodiques réguliers : la rotation de

la Terre autour de son axe (dont la conséquence visible est le mouvement diurne apparent du ciel), la révolution de la Terre autour du Soleil, les révolutions des planètes et de comètes périodiques, les rotations des planètes, les cycles multiples du mouvement de la Lune, la rotation du Soleil autour de son axe (ainsi que probablement celle des étoiles dites fixes), le cycle de la précession, les cycles des éclipses, les cycles périodiques divers des perturbations gravitationnelles, etc. Certains cycles répétitionnels astronomiques étaient connus depuis longtemps; ils servaient de base pour la prédiction des éclipses, pour l'établissement du calendrier et pour la prévision d'autres phénomènes célestes. Là où les événements astronomiques se compliquent et perdent leur aspect cyclo-périodique, par exemple à la suite de certaines perturbations, le deuxième procédé reste applicable, étant donné que la Mécanique Céleste exprime toujours en équations différentielles le rapport répétitionnel énoncé par la loi gravitationnelle, problème traité par des techniques mathématiques. Enfin, l'astronomie connaît des états et des processus dont le diagnostic permet de réaliser une prognose historique, bien que la répétition de ce processus ne suive pas une loi de répétition régulière, et ceci selon le troisième procédé de prévision. On peut ainsi prévoir, par exemple, que lorsque des taches larges qui se développent sur le disque du soleil, passent par le méridien central, il se produira des orages magnétiques et de fortes aurores boréales; ou que l'apparition d'une Nova, ou étoile temporaire, sera accompagnée de certains phénomènes cosmiques dans l'évolution de l'étoile et de son spectre.

La facilité relative de la prognose astronomique est due aux particularités du domaine historique dont s'occupe la discipline astronomique. D'abord, la simplicité relative des phénomènes constituant les systèmes célestes, tels que notre système solaire. Bien que le nombre des corps appartenant à ce système soit considérable, peu nombreux sont ceux qui, étant donné les grandes distances et les rapports des masses, agissent les uns sur les autres dans une mesure sensible. L'énorme distance du Soleil aux autres systèmes stellaires réduit pratiquement à peu de choses l'action de ceux-ci sur le système solaire; ce dernier se présente ainsi sensiblement comme un système isolé (en négligeant la possibilité de chocs, demi-chocs, l'action gravitationnelle de l'ensemble de

notre galaxie, laquelle produit sa rotation, etc.). Le grand éloignement des astres constituant le système solaire et leur forme quasi sphérique permettent de négliger leurs différences qualitatives et de les considérer, dans leurs actions mutuelles, comme des points matériels dans lesquels sont concentrées leurs masses; le facteur forme ne joue qu'un certain rôle dans les corps les plus proches, comme par exemple dans les effets de la mutation et de la précession pour le système Terre-Lune-Soleil. D'autre part, les forces agissant entre tous ces corps obéissent à la loi très simple de gravitation universelle qui ne subit de la part d'autres forces ni entraves ni concurrence physiques. Toutes ces conditions favorisent remarquablement l'application de la technique mathématique aux calculs des cycles périodiques et des perturbations non périodiques qui fournissent les éléments de la prognose astronomique, selon les deux premiers procédés. Dans la dynamique du système solaire, considéré comme système isolé, le hasard — qui est une rencontre de deux séries indépendantes — est, logiquement et pratiquement, inexistant. Toutefois, si un corps, étranger au système solaire et susceptible d'agir sur celui-ci, apparaît, par exemple une comète non-périodique, ce nouveau fait, une fois observé, peut être englobé en *une* série totalisée, dans laquelle le hasard se trouve dissous, et la loi de la gravitation universelle s'applique au système totalisé. Enfin l'intervention d'une volonté raisonnante, en l'espèce celle de l'homme, dans le dynamisme astronomique — intervention susceptible de rendre la prognose astronomique conditionnée et non inconditionnée — reste exclue, du moins tant qu'un Archimède ne se présentera pas pour soulever la Terre, après avoir trouvé un point d'appui dans l'espace cosmique.

Toutefois, toutes ces conditions ne sont pas réalisées d'une façon parfaite et absolue, elles ne se trouvent réalisées qu'approximativement, et dans une mesure inégale. La conséquence en est que la technique de la Mécanique céleste ne fournit pas de résultats absolument rigoureux, que les prévisions astronomiques ne sont que rapprochées, et que dans certains cas leur exactitude n'est pas absolument certaine. Non seulement la technique mathématique se complique, de façon à rendre difficilement applicables et le premier procédé — car, à la longue, les processus se montrent irréversibles et les cycles, de périodiques, deviennent

imparfaits — et le deuxième procédé — car le calcul se heurte à la multiplication des facteurs participant aux processus gravitationnels, mais encore on se rend compte que les forces connues sont moins simples qu'on ne l'avait supposé, et que d'autres forces et énergies, inconnues ou à peine connues, agissent, affectant la prognose historique, qui devient ainsi approchée, conditionnée ou incertaine. La loi newtonienne de gravitation universelle n'est sans doute que l'expression approchée d'une loi plus compliquée, et la plupart des tentatives faites pour expliquer l'anomalie du déplacement du périhélie de Mercure (Tisserand, Gerber, Einstein) partent d'une autre formule gravitationnelle, dont la loi de Newton n'est qu'une approximation. L'action des marées, la résistance du milieu intersidéral (matière cosmique, substances météoritiques, peut-être éther problématique), l'intervention éventuelle de forces électriques et magnétiques, les échanges de la matière et des radiations, d'autres facteurs insoupçonnés ou plus ou moins soupçonnés produisent des effets qui troublent sérieusement la prévision astronomique et cosmogonique. On n'a pu démontrer que le système solaire est absolument stable, et, ainsi que l'a dit Henri Poincaré, on démontrera peut-être un jour que le système solaire est instable. Car la réversibilité est plutôt l'idéal, l'exception, tandis que l'irréversibilité est la règle générale, et l'instabilité est la loi de tous les phénomènes naturels¹. On a calculé les destins futurs de la Lune et de la Terre, en partant uniquement de l'action des marées; certaines théories s'y rattachant par exemple celles de George Darwin et de Jeffreys, ont été qualifiées de « romans ». Combien de prédictions de « fins du monde » se contredisent les unes les autres!

Mais, sans s'arrêter aux prévisions astronomiques et cosmogoniques à échéance lointaine, d'autres prévisions astronomiques, plus réalistes et plus immédiates, se sont trouvées contredites par les événements. Des astéroïdes n'ont pas réapparu aux moments et aux points prévus; des comètes ont été déviées de trajectoires calculées et établies, se sont brisées, se sont éparpillées en météorites, etc...

Des constantes qui jouent un rôle si important dans la prévi-

1. H. Poincaré, *Sur la stabilité du système solaire*, Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1898, p. 8-9.

sion astronomique se sont révélées variables, et leurs variations non subordonnées à une loi périodique et unidirectionnelle. Ainsi, les astronomes éprouvent-ils de grandes difficultés dans leurs prévisions, en raison des irrégularités, plus ou moins acycliques, de la rotation de la Terre. Ici joue, en quelque sorte, le « hasard » des variations qui se produisent, sans doute, dans la distribution des masses d'air, de neiges et de glaces qui affectent la valeur du moment d'inertie de la Terre et contribuent à causer des oscillations irrégulières dans la longueur du jour. Voici comment M. A. Danjon, directeur de l'observatoire de Strasbourg, résume à cet égard les désagréments et les désillusions des astronomes : « Il était temps de confesser que depuis cent ou deux cents ans, l'Astronomie commettait une sorte d'abus de confiance à l'égard de ceux qui, ayant mis leur foi dans ses méthodes, lui demandaient ces délicates jouissances de l'esprit que procure seule la possession de la vérité. Elle s'était vantée de prédire rigoureusement les phénomènes célestes plusieurs siècles à l'avance. Or, elle présumait trop de son pouvoir, car ses prédictions ne se réalisaient jamais à l'heure dite, l'avance ou le retard des phénomènes atteignant dix, vingt, trente secondes, ce qui est beaucoup lorsqu'on prétend se jouer des centièmes de seconde. On se gardait de le proclamer, parce qu'on conservait le secret espoir d'accorder la théorie avec les faits. Aujourd'hui, nous savons, grâce à Newcomb, à Brown, à Innes, à de Sitter, qu'il est impossible de fixer dix ans d'avance l'heure que marquera notre pendule terrestre, réglée sur les passages d'étoiles, lorsque se produira telle éclipse, ou telle occultation ¹. »

Dans le domaine de la géologie, on s'efforce de réaliser des prévisions climatologiques et sismologiques. L'histoire de la Terre a connu des cycles qui ne sont ni vraiment périodiques ni réguliers, si on laisse de côté quelques changements de climat qu'on rattache, dans certaines hypothèses, à des cycles astronomiques et qui pourraient être prévus, pour l'avenir, sur l'échelle géologique de temps si ces hypothèses étaient reconnues exactes. En dehors du rattachement à des cycles astronomiques, des prévisions relatives aux changements de climat et aux tremblements de terre se font plutôt suivant un diagnostic, qu'applique le troisième procédé.

1. A. Danjon, *La Rotation de la Terre*, « L'Astronomie », mars 1929, p. 127.

Comme l'écorce terrestre et le globe lui-même, le climat a une histoire. Ses changements se présentent sous un double aspect : le phénomène paléothermique et le retour des périodes glaciaires. Phénomène paléothermique : jusqu'à une période géologique déterminée, le climat fut uniformément chaud, quasi tropical, sur toute la surface terrestre ; puis un refroidissement progressif commença dans les zones modérées et polaires. Phénomène de glaciations : à différentes époques géologiques et depuis les plus reculées, des glaciations accompagnées de fortes baisses de températures, se sont répétées à intervalles divers. D'où des alternances de climats chauds et de climats froids. Tandis que le phénomène paléothermique constitue une évolution dirigée toujours dans le même sens, les glaciations offrent une certaine périodicité, un certain cycle de répétition. L'histoire du climat, comme celle des astres ou des peuples, n'est, en réalité, ni un mouvement purement rectiligne ni un cycle parfait. Un pronostic de nouvelles glaciations est-il possible ?

Si les glaciations obéissaient à la loi d'un cycle périodique régulier, leur prévision pourrait se réaliser suivant le premier procédé. Les cycles périodiques les plus réguliers connus sont les cycles astronomiques. Et, en effet, des hypothèses ont été imaginées en vue de rattacher les glaciations à des cycles astronomiques, d'ailleurs incomplètement encore établis. Déjà en 1842, Adhémar, dans son livre « Révolutions de la mer », associa les glaciations terrestres au phénomène périodique de la précession des équinoxes. Plus tard, James Croll développa une hypothèse corrigée par Robert Ball qui repose sur la reconnaissance de deux facteurs : la précession, dont le cycle est de 21.000 ans et dont l'effet est que de plus longs hivers se succèdent pendant un demi-cycle dans un hémisphère et pendant l'autre demi-cycle dans l'autre hémisphère, et la variation d'excentricité de l'orbite terrestre, qui fait qu'à certaines époques, séparées par des centaines de milliers d'années la Terre s'éloigne du Soleil (la différence entre les distances de l'aphélie et du périhélie au soleil pouvant atteindre 26 millions de kilomètres, au lieu des 5 millions actuels), de telle sorte que la chaleur venue du soleil diminue considérablement. Mais la précession des équinoxes n'explique pas l'alternance des glaciations sur l'équateur, par exemple au Kilimandjaro et au Kenia. D'autre part, la chronologie des maxima d'excentricités ne donne pas de

dates coïncidant de façon satisfaisante avec l'histoire géologique de la Terre et avec les déterminations de l'âge de celle-ci. Deux époques du maximum d'excentricité se placèrent entre 980.000 et 720.000, et plus tard entre 540.000 et 80.000 avant notre ère. Lyell calcule à partir de la première date; l'âge de la Terre, depuis le cambrien devrait alors être évalué à 240 millions d'années. Par contre, Croll situe la première époque de la haute excentricité dans le miocène, et la deuxième dans la dernière glaciation pléistocène; celle-ci aurait eu lieu, d'après lui, il y a 250.000 années; dans ce cas l'échelle de Dana donne pour l'âge géologique de la Terre 60 millions d'années, à partir du cambrien¹. Or, les méthodes de la radioactivité, les plus récentes et les plus précises, fournissent pour l'âge géologique de la Terre un chiffre de 2 milliards d'années au moins. Et la dernière époque glaciaire, du pléistocène, comprenait 3, 4 ou même 6 périodes glaciaires, séparées par des périodes interglaciaires, de dizaines ou de centaines de milliers d'années. Le cycle de la précession expliquant difficilement la périodicité des glaciations passées, ne pourrait guère servir de point d'appui à la prévision de glaciations futures.

D'après une autre hypothèse, imaginée par le professeur Forbes, un cycle glaciaire de 200 ou 210 millions d'années, déjà constaté sept fois depuis la formation des plus vieilles roches jusqu'à la glaciation permo-carbonifère, serait dû à l'obscurcissement périodique du système solaire par un nuage cosmique interposé entre le Soleil et le centre de la Voie Lactée, au cours de la rotation de celle-ci. Cette hypothèse ne pourrait en tout cas expliquer les dernières et puissantes glaciations du Quaternaire, dont la durée (y compris les époques interglaciaires) a été de l'ordre de 100.000 années environ par cycle. On sait qu'en Scandinavie le retrait des derniers glaciers a eu lieu, d'après la méthode d'évaluation du géologue suédois G. de Geer, quelque 10.000 ou 15.000 ans avant notre époque. Il semble aussi que les périodes interglaciaires successives aient été relativement courtes et surtout d'inégale durée. Le cycle astronomico-climatologique de Forbes paraît

1. James Croll, *Climate and Time in their geological relations*, London, 1875, p. 331 et 340-343. — A. R. Wallace, *Island Life*, London, 1892, p. 235. — Ch. Lyell, *Principes de Géologie*, Paris, 1875, t. I, pp. 386 et 395. — Sir Robert Ball, *The Cause of an Ice Age*, London, 1892, pp. 77, 112, 116-119, 134-136, 141, 168, et *The Story of the Sun*, London, 1893, pp. 277-279, 298-299, 301-319.

donc douteux et ne peut pas non plus s'appliquer à la prévision historique des changements de climat en ce qui concerne le retour périodique de glaciations.

D'après Haug, la progression et le retrait des glaciers résulteraient de l'élévation et de l'affaissement des aires continentales. Le synchronisme de la surélévation de plusieurs aires expliquerait la simultanéité des glaciations. La difficulté de cette théorie consiste en ce qu'aux surélévations de certaines aires devrait correspondre l'affaissement de certaines autres avec élévation éventuelle de température; cette corrélation peut-elle être établie et démontrée constante? En tout cas, des processus géologiques de cette espèce sont dépourvus de toute périodicité régulière, et des prévisions climatologiques fondées sur de pareils changements se trouvent irréalisables.

On a invoqué aussi le déplacement périodique des pôles. Mais les oscillations des pôles autour d'un point moyen ont trop peu d'ampleur pour qu'on puisse expliquer par là les changements de climat. D'autre part, cette explication impliquerait la simultanéité de périodes glaciaires et de périodes chaudes dans des territoires correspondants des deux hémisphères de la Terre, ce qui est contraire aux données de la géologie. D'après la fameuse théorie de Wegener, ce sont les continents en dérive qui se déplacent dans le magma liquide, et par conséquent par rapport aux pôles; cette théorie devrait également servir à expliquer les glaciations. Mais à condition, de même, que l'on admette un synchronisme des glaciations et des périodes chaudes dans les hémisphères boréal et austral, dans une certaine position des aires continentales par rapport aux pôles, ce qui est démenti par les faits¹. M. R. Vaufray et M. Paul Woldstedt ont opposé des objections sérieuses à l'application climatologique de la théorie de Köppen-Wegener (récemment par Davidson Black).

Selon une hypothèse énoncée par Ampère et Brogniart, développée par Arrhénius et soutenue par Frech, les glaciations seraient dues aux variations de teneur de l'atmosphère terrestre en anhydride carbonique. L'enrichissement de l'atmosphère en anhydride carbonique proviendrait des émanations volcaniques; si l'activité volcanique se manifeste périodiquement, on peut supposer que

1. Harold Jeffreys, *The Earth*, Cambridge, 1924, p. 265-266.

les variations du climat sont fonction des variations d'intensité du volcanisme. Les glaciations correspondraient ainsi aux époques de volcanisme décroissant; mais cette hypothèse serait contredite par la dernière glaciation pléistocène, car cette époque fut marquée par une intense activité volcanique, notamment en Islande, en France (Plateau Central), en Italie, dans l'Archipel, en Amérique du Nord¹. Récemment, l'astronome sud-africain R. T. A. Innes a défendu la thèse que la constitution de l'atmosphère peut varier profondément si la terre heurte un nuage cosmique, ou entre en collision directe avec une comète, ou simplement traverse sa chevelure. Ces « accidents » introduiraient, dans l'atmosphère terrestre, un surcroît d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures gazeux; ceux-ci seraient, tôt ou tard, réduits en gaz carbonique et en eau. Comment concilier cette hypothèse avec le fait que la Terre a traversé plus d'une fois la queue d'une comète sans effet notable sur l'atmosphère? D'autre part, il serait difficile d'associer les explications fondées sur la teneur de l'atmosphère terrestre en gaz carbonique à l'hypothèse d'un cycle périodique régulier. Des prévisions climatologiques suivant un mécanisme cyclique répétitionnel basé sur le modèle indiqué seraient donc encore irréalisables.

Le troisième procédé, fondé sur un diagnostic, soit sur l'observation d'indices actuels de glaciation commençante, est-il applicable? Peut-on déceler des signes objectifs annonçant l'imminence d'un changement radical de climat, en l'espèce, d'une glaciation?

Il semble que des changements de climat se sont produits au Quaternaire supérieur, après la dernière période glaciaire. Il résulte d'une enquête entreprise sous les auspices du Congrès géologique international de Stockholm, que, dans certains pays européens on a pu conclure à un optimum de température consécutif au retrait des glaciers. Un phénomène semblable, probablement synchrone à celui-là, se serait manifesté dans l'Est de l'Amérique du Nord. Le climat actuel serait donc plus froid que celui qui a succédé à la dernière période glaciaire. V. M. H. Gaussen, professeur à la faculté des Sciences de Toulouse, croit pouvoir apporter un très sérieux appui à la thèse des variations climatiques post-glaciaires. Un savant suédois, M. G. Gunnar Erdtmann, prédit un retour

1. E. Haug, *Traité de Géologie*, t. I, Paris, 1907, p. 466-468.

de la période glaciaire dans deux mille ans environ. Il base son pronostic sur l'histoire actuelle des forêts : l'examen du pollen des tourbières permet de conclure que les arbres à feuilles caduques, correspondant au climat doux, sont en régression vers le Sud et disparaissent dans le Nord, ce qui postule un refroidissement du climat, donc un retour à la période glaciaire. La même opinion est partagée par le géologue américain Capps ; ce dernier constate que le climat de la période interglaciaire de l'Homme chelléen a été plus chaud que celui de notre époque : le climat actuel ressemble plutôt à celui de la période qui a précédé la glaciation Wurm en Europe et la glaciation Wisconsin en Amérique. Nous serions au milieu d'une époque interglaciaire, et, d'après les précédents, nous devons nous attendre au retour d'une nouvelle glaciation dans quelque 50.000 ou 100.000 ans. Mais, d'après la chronologie d'un autre savant américain, M. Antevs, ce retour ne demanderait pas plus de 10.000 ans. La marge de la prévision climatologique présente ainsi, chez différents auteurs, une gamme des chiffres qui oscillent entre 2.000 et 100.000 ans.

Il s'agit ici d'hypothèses encore dépourvues de certitude. Il en est de même des prévisions qui résident sur elles. La différence des chiffres l'atteste suffisamment. Ces prévisions ne sont que des probabilités.

Si les prévisions climatologiques à longue échéance ne présentent qu'un intérêt théorique, la prévision de tremblements de terre — avec autant d'avance au moins que les éruptions volcaniques — serait d'une importance pratique capitale, car elle permettrait de prendre des mesures de protection et de sauver les vies humaines. Les écrivains anciens rapportent avec étonnement que certains philosophes auraient prédit avec exactitude des tremblements de terre. Ainsi, Anaximandre de Milet aurait annoncé celui de Lacédémone ; Phérécyde, maître de Pythagore, en aurait aussi prédit un en observant l'aspect de l'eau d'un puits. Pline s'écrie à ce sujet : « Si ces récits sont vrais, quelle différence trouvera-t-on entre la divinité et ces hommes, à l'immortalité près ? » Quels seraient les procédés scientifiques permettant de faire des prévisions sismologiques ?

D'abord, le premier procédé du cycle périodique régulier. Plus d'une fois, on tenta de relier les tremblements de terre à certains cycles astronomiques et météorologiques. On cherchait un parallé-

à une supergalaxie d'un ordre suffisamment élevé. La structure des électrons, des positrons, des neutrons, des protons, des noyaux atomiques pourrait encore être complexe. Et rien ne s'oppose à ce qu'on considère la structure microcosmique comme divisible à l'infini, et, par exemple, suivant un modèle d'un système infini de microcosmes discontinus de différents ordres de grandeur.

De ce point de vue, la technique de la simplification n'atteindrait jamais sa dernière limite. On ne parviendrait jamais à des particules ultimes, on ne réussirait pas à trouver de particules idéales qui seraient les dernières particules identiques entre elles. La complexité pas plus que l'inégalité ne s'arrêterait nulle part.

Or, toute prédiction exacte s'appuie sur le mécanisme déterministe d'une répétition identique. L'histoire du monde ne se résolvant pas en une série de phénomènes et d'événements identiques, il n'y aurait aucun moyen d'établir l'existence d'un déterminisme rigoureux pour les combinaisons de non-répétitions. Ici, on sort du domaine de la technique pour toucher un autre domaine essentiel, celui du déterminisme rigoureux de la nature des choses même. Un tel déterminisme serait indémontrable. Si considérable que soit le progrès de la technique de la prévision scientifique, elle pourrait transgresser les limites posées par la défaillance du *principe* déterministe dans les irrépétitions historiques. Car toute prédiction, prétendant à une précision exacte, s'appuie sur une loi de répétition exacte ou sur un système de lois de répétition exactes, cette loi ou ces lois exprimant une certaine nécessité déterministe. Là où l'existence d'un déterminisme exact ne peut être établie, par suite de l'absence des répétitions, ou par suite des répétitions non identiques, bien que semblables, la loi ne peut être qu'approchée, la prévision ne peut prétendre qu'à être approximative et probable dans les limites de l'approximation.

Il ne s'agit donc plus ici d'une technique difficile, qui relèverait de l'insuffisance de nos connaissances et de nos capacités à un certain moment de l'évolution de la pensée humaine. Des mathématiciens ont critiqué, par exemple, au point de vue analytique, la conception prévisionniste de Laplace. « L'esprit universel de Laplace, écrit Charlier, ne pourrait pas dire comme le Dieu de la Bible, ce qui est arrivé, ce qui arrive et qui pourrait arriver... L'étude mathématique du problème du mouvement montre que le problème

de raisonner comme s'ils étaient tout à fait identiques¹. » Les répétitions dans la nature n'étant qu'approchées, il en résulte que les lois naturelles elles-mêmes ne fournissent que formules approchées et n'expriment que des vérités approchées.

Mais peut-être l'identité existe-t-elle dans les « ultimes particules » et dans les processus « microscopiques ». L'éminent physicien italien E. Fermi admet que dans le monde macroscopique, on ne trouve jamais deux objets semblables. D'après lui, « la non-existence de corps identiques dans le monde macroscopique peut être interprétée comme l'indice d'une structure très complexe ». Mais, d'après le même savant, la situation devient très différente, si, des objets ordinaires, nous passons aux atomes et aux molécules, ou, mieux encore, à leurs parties constituantes, noyaux et électrons. « Dans le monde atomique, en effet, on rencontre fréquemment des objets égaux entre eux : on peut affirmer, par exemple, que deux électrons, quels qu'ils soient, ou même deux atomes quelconques de même espèce, sont égaux entre eux. » E. Fermi reconnaît l'objection possible que l'identité absolue de deux objets quelconques est impossible à constater, étant donné le fait de certaines limites d'approximation qui dépendent de nos possibilités d'observation et qui ne tombent jamais à zéro. Et il conclut : « Tout cela, bien entendu, est vrai : de même que l'affirmation que, par exemple, deux électrons quelconques sont égaux entre eux doit nécessairement s'entendre dans un sens relatif à nos possibilités actuelles d'observation... Nous pouvons donc affirmer l'identité de deux électrons, sinon d'une manière absolue, du moins dans des limites de précision extraordinairement petites². » On voit ainsi que Fermi reconnaît lui-même le caractère relatif de l'identité des électrons, par rapport à nos sens et à notre technique d'observation et de ses limites précises. Faisons remarquer que la notion de petitesse n'est relative qu'aux dimensions de notre corps et à notre sens de grandeur. L'échelle d'appréciation n'est pas la même pour le géant astronomique de Voltaire et pour le petit démon de Maxwell. L'atome par rapport à l'homme est à peu près ce qu'est l'homme par rapport au Soleil, ou le Soleil par rapport

1. Ch. Richet, *Le principe d'identité*, « Scientia », t. I, 1934, pp. 28-39.

2. E. Fermi, *Le ultime particelle costitutive della materia*, « Scientia », 1-1-1934, p. 21-22.

cation de toute causalité qui réside dans un enchaînement de faits se réduit à la simplicité de celui-ci, on voit bien que toute prévision fondée sur une explication, qui se ramène à la décomposition d'un système en des éléments plus simples, devient techniquement d'autant moins facile que le système étudié est plus complexe et, par conséquent, se prête moins à l'opération de simplification.

Toutefois, certains phénomènes de la réalité historique, bien que relativement complexes au point de vue théorique, peuvent être prévus par la simple observation de leurs répétitions. Tels sont par exemple les cycles astronomiques que connaissaient déjà l'Orient et l'antiquité. Nous sommes ramenés au problème des répétitions dans la nature. Les lois de la nature expriment des répétitions; toutes nos connaissances scientifiques résident sur la constatation des répétitions qui existent soit dans les phénomènes eux-mêmes soit dans les rapports plus ou moins cachés qui régissent les contenus des phénomènes. L'étude de ces deux sortes de répétitions se heurte à certaines difficultés dont l'importance serait fonction de la complexité ou de la simplicité des phénomènes et des rapports. Ces difficultés sont-elles exclusivement d'ordre technique?

Si l'histoire du monde connaissait l'identité absolue de répétitions dans les phénomènes, le problème de la complexité ne présenterait qu'un aspect purement technique. Or, en réalité, l'identité n'existe pas dans le monde. Les choses individuelles, les processus individuels peuvent être *semblables*, ils ne sont jamais *identiques*. La logique de l'induction et des syllogismes est basée non sur l'identité des choses, mais sur leur ressemblance, et toute répétition est une répétition par ressemblance¹. « *Il n'y a jamais*, dit M. Charles Richet, quoique nous pensions le contraire, deux A identiques... Il est évident que deux végétaux ou deux animaux, quoiqu'ils soient de même espèce, de même âge, de même sexe, ne sont jamais identiques... *Il n'y a pas dans l'immense nature deux corps, si petits qu'ils soient, qui soient complètement identiques*. L'identité n'existe que dans l'abstraction mathématique. Jamais dans la réalité... Nous ne vivons guère que sur des *a peu près*. En effet, il n'y a nulle part d'identité, mais quand des substances ou des individus sont *à peu près* identiques, on a le droit

1. J. Deelvsky, *Nature et Histoire*, « Revue de Synthèse », juin 1933, p. 107-108.

des équations formée par notre esprit universel ne seraient-elles pas indéterminées? On pourrait faire la contre-objection suivante : un esprit pour lequel existeraient des difficultés d'ordre technique serait-il un esprit infini? Ou bien peut-être ces difficultés ne seraient-elles plus d'ordre technique, relèveraient-elles de l'essence même des choses? Mais, en admettant que se dresseraient devant la science des difficultés d'ordre exclusivement technique inexistantes pour une intelligence infinie, on serait en droit d'envisager la possibilité d'un progrès illimité de notre capacité de prévision historique; elle ne serait certes jamais parfaite, absolument exacte ni intégrale — ce qui équivaldrait à atteindre l'infini, — mais se perfectionnerait indéfiniment d'une façon illimitée et pourrait même éventuellement, approcher d'une façon asymptotique, de la perfection absolue. Il en serait autrement si les difficultés relevaient de l'essence même des choses.

Il s'agit donc de délimiter, en ce qui concerne les domaines divers de la réalité historique les deux catégories de difficultés, s'il en existe, et de distinguer d'une part celles qui ne s'opposent pas, par elles-mêmes, au progrès illimité de la science de la prévision historique, et d'autre part celles qui lui marquent des limites essentielles.

On l'a vu, en ce qui concerne l'histoire dans la nature la prévision exacte devient de plus en plus difficile à mesure que les phénomènes et les événements qui se produisent dans tel ou tel domaine se présentent plus complexes, que le hasard y joue davantage et que l'intervention de l'activité humaine s'y mêle de façon plus prononcée.

Le facteur « complexité » apparaît, tout d'abord, sous son aspect technique. Plus un problème est compliqué, plus il est difficile à résoudre exactement. Un système de trois corps est plus complexe qu'un système de deux corps; tandis que le problème mécanique de deux corps, ou plutôt deux points matériels s'attirant selon la loi de la gravitation newtonienne est résolu exactement, le problème des trois corps resta depuis Newton réfractaire aux efforts de nombre de mathématiciens éminents; aujourd'hui encore, malgré quelques travaux récents fort remarquables, la solution de ce problème ne semble pas encore donner toute satisfaction. La prévision d'un événement est liée à l'explication de la causalité inhérente à ce phénomène; étant donné que la facilité d'une expli-

prévision inconditionnée exacte ne soit jamais atteint. Mais elles pourraient n'être que provisoires et ne dépendre que de l'état de nos connaissances à un moment donné. Or si elles étaient surmontables, rien ne s'opposerait à ce que l'idéal de la prévision historique, exacte et intégrale, se trouve un jour réalisé par la science. L'histoire tout entière du monde pourrait ainsi être prévue, comme la solution d'un problème de mécanique.

D'où les célèbres utopies scientifiques de Laplace et de Du Bois-Reymond. Envisageant « l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre », Laplace trace l'idéal scientifique dans les termes suivants : « Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'Analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux¹. » Développant la pensée de Laplace, Émile Du Bois-Reymond écrit : « L'état du monde au cours d'un intervalle de temps infiniment petit se présenterait comme le résultat immédiat de son état au moment précédent et la cause immédiate de son état au moment suivant. La loi et le hasard ne seraient que des noms différents de la nécessité mécanique... De même que l'astronome prédit le jour où une comète, après beaucoup d'années, émerge de nouveau au ciel des profondeurs de l'espace cosmique, de même façon cet esprit pourrait lire dans ses équations le jour où la croix grecque brillera sur la mosquée Sophie, ou le jour où l'Angleterre brûlera le dernier morceau de son charbon minéral². »

On a élevé des objections contre la possibilité de telles perspectives scientifiques qui relèvent de la notion de l'Infini. Si le nombre d'équations était infini? Et surtout si le nombre de paramètres qu'elles contiendraient était infini? Pour être capable de résoudre ces équations, la « vaste » intelligence dont parle Laplace ne devrait-elle pas être infinie? D'autre part, les solutions

1. Laplace, *Œuvres*, t. VIII, 1886, *Théorie Analytique des Probabilités*, Introduction, p. VI-VII.

2. E. Du Bois-Reymond, *Ueber die Grenzen des Naturerkennens, Die Sieben Welträthsel*, Leipzig, 1882, p. 11-12.

si l'on peut dire, une matière qui est fort loin de nous avoir livré ses secrets¹. »

La vérité est que les lois physico-chimiques fournissent, en général, des prévisions *conditionnées* : si telles ou telles conditions ou combinaisons sont réalisées, il se produira tel ou tel effet. Ce ne sont pas en général des prévisions historiques. Mais le savant peut réaliser *artificiellement* dans son laboratoire, et ceci encore *à peu près*, les conditions qui correspondent à l'énoncé de la loi, créer ainsi une combinaison simplifiée, grâce à quoi il prévoit le résultat. Par contre, en pathologie, la maladie n'est pas un fait expérimental (sauf la médecine expérimentale), elle est un fait historique, avec toute sa complexité concrète et individuelle; le pronostic du médecin et une prognose historique, qui s'appuie sur un diagnostic, sur l'observation des précédents, de faits répétitionnels observés, et sur l'application de certaines lois. Et la prévision du médecin ne peut être qu'une probabilité; elle n'exprime pas une certitude complète. D'où la possibilité des erreurs. En outre, l'intervention même du médecin peut changer le cours naturel de la maladie.

Il résulte de ce qui précède que, en général, les prévisions historiques faites dans le domaine de la « science exacte » ne possèdent pas un caractère de certitude absolue, que dans certaines disciplines la certitude de prévisions historiques n'est qu'une certitude pratique, et que dans la plupart des autres les prévisions présentent un caractère de probabilités, d'approximations, de limitations et de prévisions essentiellement conditionnées.

III

Les prévisions historiques concernant le domaine de la nature sont dépourvues de tout caractère de certitude et de précision exacte. S'agit-il ici exclusivement de difficultés d'ordre technique? Ou des limites sont encore imposées à la prévision par l'essence même des choses?

S'il n'y avait que des difficultés d'ordre technique, il faudrait qu'elles soient absolument insurmontables pour que l'idéal de la

1. Docteur Henri Bouquet, *La prévision en médecine*, « Revue générale des Sciences », 15 mars 1933, p. 140-142.

M. J. Pattefossé, le Sahara a trouvé une phase biologique humide dans un passé qui n'est pas très lointain; la période désertique n'y serait pas due à de nouvelles modifications de climat ou à de nouveaux cataclysmes géologiques; elle serait uniquement le fait de l'homme et de ses commensaux, les ruminants domestiques. L'activité dévastatrice de l'homme peut, d'ailleurs, être réparée par la réduction du libre pâturage et par le reboisement.

Mais, d'autre part, par son industrie, l'homme change l'histoire géochimique de la Terre. « Il change, dit le professeur Vernadsky, l'histoire géochimique de tous les métaux, il forme des composés nouveaux, les reproduit en quantités énormes, du même ordre que les masses des minéraux, produits de réactions naturelles. Dans l'histoire de tous les éléments chimiques c'est un fait d'une importance unique. Pour la première fois dans l'histoire de notre planète nous voyons la formation de composés nouveaux, un changement inouï de la face terrestre... L'homme augmente partout la quantité d'atomes qui sortent des cycles anciens — « cycles éternels » géochimiques. Il renforce la perturbation de ces processus, en introduit de nouveaux, déränge les anciens. Une force géologique nouvelle est certainement apparue à la surface terrestre avec l'homme¹. »

On a vu quelles difficultés sont opposées par la complexité des événements géologiques, climatologiques, sismologiques, à la prognose historique inconditionnée et exacte. Or, du fait de l'intervention de l'homme dans le cours des événements constituant l'histoire géologique du globe, celle-ci devient, dans une certaine mesure, fonction de l'histoire humaine. La prévision géologique se rattache à la prévision sociale qui a un aspect tout spécifique. De ce point de vue elle se ramène encore à une prévision conditionnée.

Dans la prévision météorologique on s'appuie également soit sur un système de cycles périodiques, soit sur une causalité révélée par un diagnostic. Mais l'histoire « du temps qu'il fait » se montre comme un ensemble trop complexe et trop dépendant de facteurs multiples qui ne sont que partiellement connus pour qu'on puisse l'encadrer dans une formule simple permettant d'en tirer les éléments d'une prévision, suffisamment concrète (et non vague), exacte et certaine. On reste toujours dans le champ des probabilités.

1. W. Vernadsky, *La Géochimie*, Paris, Alcan, 1924, p. 342-344.

Il y a d'abord le cycle undécennaire des taches solaires (cycle de Schwabe), ou son double, d'après Abbot, ensuite le cycle périodique de Brückner, de 35 ans, qui est peut-être le triple de celui de Schwabe. On soupçonne l'existence de cycles solaires plus longs, de 156 ou 164 ans (Kimura et Turner), et même de 1.800 ans (Peterson). D'après les études synthétiques de F. Nansen et B. Holland-Hansen, la différence entre les températures moyennes à la surface de la terre aux années de maxima et de minima du cycle de Schwabe serait de l'ordre d'un demi-degré; Abbot propose un chiffre légèrement plus élevé¹; M. H. Mémery a indiqué qu'un siècle comprend un nombre exact de périodes solaires, à savoir 9; par suite de cette durée moyenne, on retrouve, d'un siècle à l'autre, sensiblement les mêmes dates pour les époques des maxima et des minima de la période solaire. Ainsi, par exemple, les maxima des taches pour les années 1605 (?), 1705, 1805, 1905; ou 1615, 1717, 1816, 1917; ou 1626, 1727, 1829, 1928; ou encore 1693, 1788 (?), 1893. On constate aussi les minima, par exemple, dans les années 1634, 1733, 1833, etc. Il existe, toutefois, des différences assez nettes. On retrouve un certain parallélisme entre les maxima des taches et les étés chauds pour les mêmes années des siècles successifs. Mais, ainsi que M. H. Mémery l'a montré dans une note présentée à l'Académie des Sciences en 1931, le phénomène est plus complexe que ne le laisserait supposer la formule du simple parallélisme. Ainsi, on note une série d'étés chauds intermédiaires, séparés également par des intervalles d'une durée analogue à celle de la période solaire; les intervalles qui séparent les maxima et les minima des périodes solaires sont tantôt courts (10 à 11 ans), tantôt longs (12 ou 13 ans); il existe de notables différences dans la durée et l'intensité de périodes solaires. Les variations de la constante solaire apparaissent ainsi fort complexes et capricieuses; les prévisions qui s'y attachent ne sont que des probabilités.

Que l'évolution des taches solaires ne soit pas la cause exclusive des oscillations de la température moyenne des différentes années, on le constate par le fait des non-parallélismes de cet effet dans divers territoires. Ainsi, pendant que les étés « pourris » se succédaient de 1830 à 1832, dans le Vieux Monde, l'Amérique du

1. *Die Naturwissenschaften*, 19 Februar 1932, p. 143-144. — *Science*, de New-York, December 9, 1933, p. 518-519.

inconditionnée. Et, bien que la vie de tout être organisé obéisse au système des lois biologiques, la prognose historique inconditionnée portant sur la biographie d'un organisme déterminé est une tâche irréalisable.

Ce qui est plus facilement réalisable dans la prognose historique des événements de la vie biologique d'un individu donné, ce sont des pronostics basés sur les diagnostics se rapportant aux états spécifiques de l'organisme à certains moments de sa vie. Telles sont par exemple les prévisions en médecine. Le terme même de « pronostic » est apparu d'abord dans la médecine, où il désigne la prévision du cours de la maladie. Comme le dit le docteur Henri Bouquet, « pronostiquer, en effet, c'est prévoir, en présence d'un malade, comment évoluera la maladie que l'on constate chez lui, combien de temps elle durera, quelle menace elle peut comporter pour sa vie, pour son intégrité physique ou même psychique, le risque qu'elle lui fait courir de troubles plus ou moins durables susceptibles d'entraver de façon appréciable l'activité normale du sujet ». Et le docteur Bouquet oppose l'incertitude de la prévision en médecine à la certitude de la prévision physico-chimique : « Là où le chimiste peut prévoir avec une certaine sûreté et ne risque d'errer que dans des limites très étroites, le médecin est bien loin de posséder la même assurance. » Car « la médecine n'est pas une science » dans ses applications, elle est un art : on y demeure toujours dans l'ignorance de ce qu'est, en son essence, la vie. La nature des maladies, et notamment des maladies cycliques à évolution bien connue, est complexe et laisse place à des surprises, à des complications possibles. « Ces complications sont de nature extrêmement diverse et il est fort difficile, souvent, de les prévoir et surtout de prévoir les conséquences qu'elles auront... Le pronostic du médecin, dans la plupart des cas, sinon dans tous, n'est qu'une hypothèse que rendent seulement plus vraisemblable son savoir, son expérience, ses facultés d'observateur... Ce n'est jamais sans une certaine réserve que le médecin énonce son pronostic... Rien n'est difficile comme de porter un diagnostic exact en toutes ces parties, si ce n'est de prévoir comment évoluera le mal que l'on a reconnu... Le risque de se tromper est d'autant plus grand que la discipline à laquelle il (le médecin) obéit demeure, en la plupart de ses chapitres, redoutablement obscure et qu'il travaille,

l'éternité dans un monde fixe — ce qui est contraire à tout ce que nous savons... La prévision est presque stationnaire depuis 75 ans et continuera de piétiner dans un cul-de-sac, tant que l'on prendra la pression *seule* comme élément fondamental¹. »

Ce qu'il faut souligner, c'est que dans les processus géologiques et météorologiques, le « hasard » (inégales distributions de la matière, des roches, des masses atmosphériques, etc., résultant de toute l'histoire précédente de la Terre) se manifeste largement dans la complexité des phénomènes. La technique de la prognose en est défavorablement affectée.

Dans le domaine de la biologie, la prévision s'applique aux divers cycles vitaux qui caractérisent la vie des organismes en général : cycles physiologiques qui se renouvellent dans chaque organisme, tant qu'il reste vivant ; processus évolutionnels, unidirectionnels et irréversibles, qui constituent le dynamisme vital de chaque organisme, depuis sa naissance jusqu'à sa mort, à travers tous ses âges, enfance, jeunesse, maturité, vieillesse. La prognose consiste pour chaque organisme en la formule disant que, *tant que cet organisme vivra*, ces cycles et ces processus continueront à se réaliser. C'est une prévision, limitée aux circonstances et aux conditions générales de la vie ; elle est impuissante à préciser les détails concrets et spécifiques de la vie d'un organisme particulier à un moment donné de cette vie ; elle est conditionnée, du point de vue de l'impossibilité de situer d'avance, dans le temps, le moment de la mort de tel ou tel organisme donné. Les processus physiologiques d'un organisme vivant, tels qu'ils découlent des lois générales de la vie, ne constituent pas *toute* la vie de cet organisme. Il n'y a jamais eu au monde deux organismes de forme, de structure et de biographie identiques. La vie de tout organisme est un ensemble complexe, qui ne se répète pas en d'autres que lui, avec toutes ses particularités individuelles. Le hasard individuel s'y manifeste dans une richesse de diversités constructives. Dans les organismes supérieurs, surtout chez l'homme, la volonté raisonnante affecte la biographie de chaque individu, en la rendant assez réfractaire à toute prévision

1. J. Mascart, *La prévision du temps*, « Scientia », VI, 1928, pp. 391, 393, et 398.
— U. Napier Shaw (« Scientia », 1932), qui parle d'une « météorologie de demain ».

l'effet antagoniste des deux mécanismes développés, par l'activité volcanique, émission de particules solides et émission de gaz, qui agissent sur les variations météorologiques en deux sens opposés. Cette antinomie montre, une fois de plus, à quel degré des phénomènes météorologiques sont complexes et affectent lourdement la probabilité de cette catégorie de prévisions.

La prévision du temps qu'il fera est établie aujourd'hui, 24-48 heures d'avance, par les observatoires météorologiques; ils publient des bulletins quotidiens contenant un diagnostic-pronostic de « l'évolution probable » du temps. En se basant sur une série d'observations relevées dans un grand nombre de postes, on établit la situation barométrique et les variations de pression: on détermine les dépressions, les cyclones, les anticyclones, la direction du vent, le système nuageux; on dresse les isobares, on établit les centres d'action, les noyaux de variations de pression. On prévoit le vent par la comparaison de cartes successives destinées à l'étude des noyaux de pression; l'état du ciel, par la liaison qui existe entre les noyaux de variations et les systèmes nuageux; la température par les deux prévisions précédentes. Mais, en raison de la complexité du phénomène météorologique, la prévision du temps ne peut prétendre à la certitude. Elle ne fournit que des probabilités. Et les prévisions du temps ne se réalisent en général que dans 70 % des cas.

Le système de la prévision météorologique actuelle est apprécié avec une certaine note de pessimisme par nombre de savants. Ainsi, M. J. Mascart, directeur de l'Observatoire de Lyon, ayant rappelé le mot de Duclaux qu'« il n'y a pas eu sûrement, depuis que le monde est monde, deux jours qui se soient ressemblés complètement », dit : « Sous la pression de l'opinion incompétente, devant l'importance des intérêts en jeu pour la navigation, l'agriculture, on se laissa entraîner dans la prévision du temps avant d'avoir établi des bases certaines. C'est une faute... Existe-t-il dans le passé une carte identique? On serait alors en présence du problème rêvé des *types de temps* et l'on pourrait prédire le même développement des phénomènes qui s'est déjà produit : la prévision du temps serait bien simple. Mais... on pouvait affirmer *a priori* qu'il ne peut pas y avoir identité de cas, car l'identité entraînerait les mêmes retours de temps, les mêmes successions dans un certain cycle et les mouvements de l'atmosphère seraient figés pour

Nord a bénéficié de cinq étés successifs extrêmement chauds et secs; seul celui de 1932 a été un peu moins chaud. On a cru expliquer le bilan calorifique, si mauvais, de l'année 1932 par les récentes éruptions volcaniques. Il y a longtemps qu'on admettait l'existence d'une corrélation possible entre le mauvais temps et les éruptions volcaniques¹. Benjamin Franklin avait déjà émis cette idée, en 1784, pour expliquer, par une éruption du volcan islandais Hekla, le mauvais été de 1783 et l'hiver rigoureux qui suivit; cette hypothèse a été développée avec beaucoup de force par Abbot qui a dressé un tableau comportant vingt-six constatations : la plus ancienne remonte à l'éruption du Vésuve, en 1632, par un froid si extraordinaire que, le 4 octobre, 37 soldats furent gelés entre Béziers et Montpellier. Les poussières projetées par les volcans, qui retombent jusqu'à la surface de la terre avec une lenteur extrême, forment en quelque sorte un écran entre le Soleil et la terre, et cet écran diminue la radiation solaire. Ainsi, on a constaté une baisse de 20 % dans la radiation solaire à la suite de l'éruption du Krakatoa, en 1883. En appliquant la loi de Stefan, on aboutit à une diminution correspondante de la température de 5 degrés. Une perturbation de ce genre suffirait à créer un « été pourri ». Mais, en ce qui concerne l'été de 1932, reste à savoir si l'intermède chaud et sec d'août et de septembre dont on a bénéficié à la fin de l'été pourrait entrer dans le cadre du mécanisme indiqué.

On a fait remarquer que si les éruptions volcaniques devenaient encore plus intenses, elles pourraient abaisser la température d'une façon si intense que notre climat se refroidirait à un niveau comparable à celui des époques glaciaires. Il y aurait donc éventualité de retour d'une période glaciaire. Or, ainsi qu'on l'a vu, d'après les idées d'Ampère et Brogniart, d'Arrhénius et de Frech, la reprise de l'activité volcanique devrait s'opposer aux glaciations et amener le retour d'une époque chaude, ceci en raison de l'émission d'énormes quantités de gaz, vapeurs d'eau, acide sulfureux, et surtout gaz carbonique, gaz qui faisant diminuer le rayonnement de la terre dans l'espace contribuent par là à l'élévation de température de la surface terrestre. Ce paradoxe apparent s'expliquerait par

1. Sir Gilbert T. Walker, *Seasonal Weather and its Prediction*, « Nature », November 25, 1933, p. 805-808.

importantes recherches puissent mettre désormais le monde à l'abri des terribles conséquences de séismes¹. »

Si les faits prouvent que les nouveaux procédés magnéto-graphiques permettent de mettre les populations à l'abri des catastrophes sismiques, ce sera l'acquisition d'une nouvelle prévision historique d'après le troisième procédé, et en même temps une nouvelle page sera inscrite dans l'histoire des triomphes de la science. Mais la nouvelle prognose donnera-t-elle une certitude ou seulement une probabilité, comme dans la prévision du temps qu'il va faire?

Les matières minérales dont est constituée l'écorce terrestre subissent des transformations complexes qui ne semblent pas obéir à une loi de cycle réversible, et dont la prévision concrète paraît difficilement réalisable. Il est extrêmement remarquable que la prévision climatologique et la prévision géochimique sont affectées déjà par un nouveau facteur, celui de l'intervention de l'activité humaine. La prévision dans le domaine de l'histoire dans la nature se trouve ainsi rattachée, dans une certaine mesure, à la prévision dans le domaine de l'histoire humaine.

Ce facteur est souligné avec force par le professeur Vernadsky : « A notre époque géologique — ère phychozoïque, ère de la Raison — se manifeste un nouveau fait géochimique d'une importance capitale. Dans le cours des derniers milliers d'années l'action géochimique de l'humanité, qui au moyen de l'agriculture s'empare de la matière vivante verte, est devenue intense et excessivement multiple. Nous observons une étonnante rapidité de la croissance de cette action. C'est l'action de la conscience et de l'esprit collectif de l'humanité sur les processus géochimiques... Ce sont des éléments nécessaires à la technique et à la création des formes civilisées de la vie. L'homme agit ici non comme *Homo Sapiens*, mais comme *Homo faber*. »

On sait le rôle que l'industrie humaine a joué dans la variation du climat sur de vastes étendues. Le déboisement, l'élevage intensif du mouton et de la chèvre ont contribué au dessèchement de territoires considérables. Des données très sérieuses semblent indiquer que le Sahara a été jadis une région fertile. D'après

1. A. Nodon, *Peut-on prévoir les tremblements de terre?* « Revue des Questions Scientifiques », 20 mars 1933, p. 277. — Comp. *Boletín del Observatorio del Salto Santiago de Chile*, 1933.

mouvements susceptibles d'être décelés par des instruments sensibles. Les indications de ces instruments pourraient être assez précises et assez sûres pour permettre de prendre à temps des mesures de sauvetage.

Certains géologues attribuaient la cause des tremblements de terre à des effets électriques à l'intérieur de la terre. John Milne nie cette action, mais il reconnaît que, dans le cas où des masses considérables de roches se trouvent déplacées, on constate de légères variations locales dans les courbes magnétiques. Dans une note présentée à l'Académie des Sciences, le 16 septembre 1907, M. Albert Nodon annonçait que les séismes étaient précédés d'oscillations de l'électromètre. Depuis lors, il a pu constater que les manifestations sismiques étaient décelées à des distances souvent considérables par des perturbations d'origine électrique et par des oscillations isochrones d'origine magnétique, se succédant toutes les sept secondes. M. Nodon constatait également les séismes à l'aide de magnétomètres dont l'équipage aimanté était orienté perpendiculairement au méridien magnétique. M. J. Bustos Navarrete, directeur de l'Observatoire del Salto, à Santiago de Chili, construisit en 1924, suivant les indications de M. Nodon, un magnétographe enregistreur (à enregistrement photographique), qui, avec d'autres instruments très sensibles aux vibrations terrestres, et disposés comme moyen de contrôle à côté de celui-ci, permettait de suivre les perturbations sismiques sur la même feuille que les troubles magnétiques. L'examen de ces graphiques permet de déceler, environ vingt heures à l'avance, l'approche des séismes, d'après la forme oscillatoire des courbes. Dès septembre 1932, un groupe d'inclinographes, installés dans une grotte de la montagne Santa Lucia, fonctionne, de façon à obtenir sur le même graphique les oscillations magnétiques et les trépidations sismiques. Dans une étude récente, M. Albert Nodon conclut : « Il est donc déjà possible actuellement de prévoir au Chili, une vingtaine d'heures à l'avance, l'approche d'un séisme à Santiago ou à Talca et de pouvoir disposer du temps nécessaire pour se mettre à l'abri du cataclysme. Ajoutons que dans de récentes recherches, nous avons confirmé que les variations magnétiques locales sont étroitement liées à celles des courants telluriques. Ce fait semblerait confirmer l'intervention probable, dans les séismes, de phénomènes électriques importants ayant lieu dans le sol lui-même. En résumé, souhaitons que ces

autre, sans aucune périodicité, semble-t-il, et donc sans que rien puisse nous permettre de le prévoir, la dormeuse est secouée d'un brusque soubresaut, ainsi qu'un malade en pleine fièvre dont le lourd sommeil est traversé de cauchemars¹. »

Quelle que soit la solution définitive du problème de la périodicité des séismes en relation avec des cycles astronomiques, il est fort douteux que cette méthode puisse donner des prévisions concrètes selon le premier procédé et des indications pratiques suffisantes permettant de prédire et de situer d'avance un tremblement de terre. L'état des connaissances scientifiques actuelles rend encore moins probable la possibilité de prévoir un tremblement de terre, comme un événement non périodique ou irrégulièrement périodique selon le deuxième procédé. La seule chose actuellement possible, c'est prévoir la catastrophe à partir du début du processus, selon le troisième procédé, de le diagnostiquer comme on prévoit un orage d'après des signes avant-coureurs ou comme on pronostique l'évolution d'une maladie.

Au cours du tremblement de terre d'Andalousie, du 25 décembre 1884, on a observé le phénomène suivant : la secousse initiale fut précédée du bruit souterrain presque habituel : sur l'épicentre, il se fit entendre assez longtemps d'avance pour que beaucoup de personnes aient pu sortir de leur maison et même descendre un escalier de deux étages (Fouqué). De Rossi raconte qu'un prisonnier politique, enfermé dans un cachot souterrain de Lima, entendait les rumeurs annonciatrices de la catastrophe. Mais, en général, les bruits ne précèdent pas assez les secousses, pour que les hommes aient le temps de s'enfuir. Alexis Perray raconte, d'après la relation du capitaine Fitz-Roy, qu'avant le grand tremblement de terre de Concepcion (Chili) du 20 février 1835, on remarqua dans la ville, à dix heures du matin, de grandes bandes d'oiseaux de mer ; passant au-dessus des maisons, ils volaient de la côte vers l'intérieur des terres. La secousse catastrophique se produisit à 11 h. 40. Les oiseaux avaient-ils senti le séisme ?

On peut présumer que, si instantanée qu'elle soit, la secousse sismique doit être précédée, dans les profondeurs de l'écorce, de

1. Comte de Montessus de Ballore, *La Géologie Sismologique*, Paris, 1924 passim, et *Préface*, p. viii. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1912 et 1913, t. 155, pp. 379-380 et 560-561 ; t. 156, pp. 100-102, 414-415 et 1194-1195.

lisme entre la fréquence et l'intensité de l'activité sismique d'une part, et d'autre part les cycles lunaires, ceux des taches solaires, de la rotation du Soleil, des saisons (Perrey, Oddone, Zenger, Espin). E. Marchand, l'ancien directeur de l'Observatoire du Pic du Midi, reliait les tremblements de terre aux phénomènes solaires et luni-solaires : ils correspondraient au moment où une région d'activité (groupe de facules) du Soleil passe au méridien central, ou à la réunion de plusieurs particularités du mouvement de la Lune autour de la Terre : coïncidence de la nouvelle Lune (ou pleine lune) avec le périgée et avec une déclinaison de la Lune très voisine de celle du Soleil (condition particulièrement favorable à une forte attraction luni-solaire). D'après Marchand, les séismes ne se produisent que si les actions géologiques les ont déjà préparés ; mais les « dates critiques » peuvent être déterminées d'avance. Et Marchand conclut : « Sans prétendre établir des *pronostics*, on peut se servir des considérations précédentes pour calculer des dates autour desquelles il y aura lieu, plus particulièrement, de redouter des tremblements de terre¹. » Dans une récente étude, le docteur C. Davison démontrait l'existence de deux périodes sismiques de 11 et de 19 ans environ. La connexion entre les deux périodes serait montrée par les époques de la période sismique, inverses dans les deux hémisphères : dans l'hémisphère boréal, l'époque des tremblements de terre correspondrait au moment où l'obliquité de l'écliptique due à la nutation est la plus petite, dans l'hémisphère austral au moment où elle est la plus grande.

Par une étude approfondie des statistiques des tremblements de terre, l'éminent sismologue de Montessus de Ballore est arrivé à cette conclusion qu'il n'existe aucune relation certaine entre les grands séismes et les cycles astronomiques et météorologiques : les tremblements de terre ne sont associés ni à la période des taches solaires ni aux saisons, ni à la période météorologique de Brückner, ni aux phases de la Lune, ni aux précipitations atmosphériques. Il n'y aurait donc à chercher dans ce domaine aucune base sérieuse pour la prévision de séismes. Et le célèbre géologue Pierre Termier fait remarquer en termes poétiques : « De temps à

1. E. Marchand, *Relation des Tremblements de Terre avec les phénomènes solaires et les phénomènes luni-solaires*, Bagnères-de-Bigorre, 1909, p. 12 et passim.

de l'univers ne compte pas une solution unique, mais un *nombre infini* de solutions simultanées, sans qu'il soit possible de décider laquelle de toutes ces solutions correspondrait au sort futur de l'univers. Avec tout son savoir et toute sa pénétration mathématique, l'esprit universel de Laplace serait dans une aussi grande incertitude que l'est aujourd'hui l'entendement humain¹. » Cette critique de la conception de Laplace est d'ordre technique, puisqu'elle se rapporte à l'insuffisance de notre savoir mathématique; cette critique perd même toute efficacité, si la formule de Laplace s'étend sur un monde fini et non divisible à l'infini, au point de vue de la matière, de l'énergie, de l'espace et du temps. Elle ne touche pas au déterminisme même de l'histoire du monde s'exprimant par un certain nombre d'équations. Car toute équation de la Mécanique implique un déterminisme rigoureux donné dans la dépendance fonctionnelle entre les variables.

Le grand mathématicien français J. Boussinesq (déjà en 1878 et même avant), avait tenté d'établir une sorte d'indéterminisme mécanique en s'appuyant sur les équations mêmes de la Mécanique. Il cherchait la « conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale ». Cette tentative a été favorablement accueillie par des philosophes : Paul Janet fit à ce sujet un rapport très élogieux à l'Académie des Sciences morales et politiques; Ch. Renouvier, dans un article publié dans la « Critique philosophique » (17 juin et 1^{er} juillet 1882), apprécia comme très heureuse l'idée, de Boussinesq, d'exprimer la loi du mouvement en équations différentielles et de « néanmoins réserver une place suffisante à tout ce que peut exiger d'indétermination l'acte d'un *principe directeur non mécanique* ». Car Boussinesq édifie la liberté morale sur ce fait que certaines équations différentielles admettent des « intégrales singulières », de telle sorte que le calcul même ne permet pas de faire un choix entre deux solutions ou trajectoires également possibles, satisfaisant également aux équations. Il y a donc indétermination apparente, au point de vue mécanique. C'est alors qu'interviendrait le « principe directeur » ou le « pouvoir directeur », « cause, incapable par elle-même, de produire des vitesses, mais apte à utiliser celles

1. C. V. L. Charlier, *La loi des grands nombres*, « Scientia » 1921, pp. 433, 435.

qu'engendrent les forces physico-chimiques ordinaires, par la faculté, qui la caractérisera, d'engager ou *d'aiguiller*, pour ainsi dire, les points matériels, aux endroits où ces forces physico-chimiques *ouvriront* aux phénomènes plusieurs voies, *sur l'une d'elles* plutôt que sur les autres. Son rôle sera donc essentiellement *initiateur* ou, pour ainsi dire, *décrochant* et de mise en train¹ ».

La tentative de Boussinesq fut critiquée sévèrement par le célèbre mathématicien Joseph Bertrand : les équations différentielles du mouvement sont un instrument que nous avons créé pour faciliter nos calculs, et un instrument ne peut pas être plus fort que celui qui l'a inventé ; les « intégrales singulières » attestent seulement notre incapacité d'éliminer dans nos calculs les solutions parasites et inadéquates qu'elles apportent². De même, dans un remarquable article que M. Émile Picard, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, a consacré à J. Boussinesq, il dit, à cet égard : « Les ambiguïtés, les indéterminations, qui semblent se présenter ne disparaîtraient-elles pas avec des relations serrant de plus près la réalité ? Les conditions de détermination ne peuvent-elles pas se trouver changées par des modifications dans nos représentations analytiques ? Telles sont les objections qu'opposera le déterminisme, et il faut reconnaître que la tentative mathématique et philosophique de notre confrère, si ingénieuse qu'elle soit, ne fait guère avancer le problème de la liberté et du déterminisme³. » La tentative de Boussinesq réside simplement sur la difficulté *technique* qu'il y a à tirer d'une certaine espèce d'équation différentielle une détermination unique, de la trajectoire du mouvement. Mais indépendamment de la question d'une technique défailante, les équations différentielles ne sont par essence que l'expression mathématique d'un déterminisme rigoureux d'un rapport à moins qu'elles ne contiennent des coefficients ou des fonctions de probabilités, ou qu'elles ne soient affectées de para-

1. J. Boussinesq, *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. — *La liberté et le déterminisme scientifique*, « Revue scientifique », 1877, N° 42. — *Cours de Physique Mathématique*, tome III, Paris, 1921, p. 337 et pass. — *Compléments au tome III*, Paris, 1922, pp. 19-28, et appendices.

2. *Journal des Savants*, septembre 1878 (Comp. les articles de Delbœuf et de Fouillée dans la *Revue philosophique*, 1882-1883).

3. *Revue Scientifique*, 10 février 1934, p. 81.

mètres exprimant l'indétermination limitée. Sans ces réserves, toute équation différentielle formule une répétition exacte, rigoureuse et nécessaire, par conséquent déterministe, en ce qui concerne un rapport déterminé.

La non-identité dans la Nature, la non-répétition exacte des phénomènes et des rapports font qu'un déterminisme rigoureux ne peut être ni décelable ni démontrable. On doit s'y contenter d'un déterminisme rapproché et limité. De ce point de vue, les équations différentielles de l'histoire du monde tracent une réalité qui n'est point exacte ni rigoureusement déterminée, mais seulement approchée et probable. Ce n'est pas seulement une technique insuffisante qui empêche la prévision exacte et rigoureuse des événements, mais l'irrépétition de la réalité, irrépétition qui échappe à l'emprise déterministe, base de la prévision rigoureuse possible. Plus le caractère irrépétitionnel est prononcé, plus la base est vacillante. Le déterminisme se ramène à un probabilisme. L'irrépétition s'accroît ordinairement dans les phénomènes et les événements complexes. On comprend dès lors que les événements plus complexes soient moins facilement prévisibles, pour des raisons d'ordre technique aussi bien que pour des raisons inhérentes à l'essence même des choses. Il est vrai que la nature connaît des événements assez complexes qui sont néanmoins prévisibles, comme par exemple ceux qui sont liés aux cycles astronomiques. Mais toujours dans ce cas d'une façon approximative plus marquée, conditionnée, sous réserves et limitations, avec un *si*. Telles sont par exemple les réserves dont sont affectées, au point de vue de la précision du temps, les prévisions des éclipses qui souffrent d'un trouble porté dans les calculs par les irrégularités de rotation de la Terre et la variation de l'unité de temps.

Des raisonnements analogues s'appliquent à un autre facteur qui limite l'étendue de la prévision historique : l'action du hasard. Ici aussi nous nous trouvons devant un empêchement technique et devant un obstacle plus essentiel.

Le hasard, c'est la rencontre de deux séries indépendantes, dont chacune obéit à sa causalité intérieure, les deux causalités se présentant comme indépendantes avant la rencontre des deux séries. L'étude de la causalité intérieure de chaque série permettrait la prévision des termes ultérieurs de cette série, sauf la rencontre même qui ne découle pas de chacune des deux causa-

lités. On peut envisager, toutefois, les deux séries comme formant deux éléments d'une série totalisée, plus complexe, dans laquelle la rencontre perdrait son caractère de hasard ; par exemple, la perturbation produite dans le mouvement d'une comète par son rapprochement de la planète Jupiter, serait considérée tout simplement sous l'aspect d'un problème de trois corps, bien que le mouvement de la comète (attiré ou non par le Soleil) et celui de Jupiter fussent envisagés comme deux séries indépendantes jusqu'au moment où la grande planète aurait manifesté son action perturbatrice sur la comète. De ce point de vue, le hasard ne serait relatif qu'à notre connaissance, et le monde, avec toutes les séries qu'il englobe ne serait qu'un ensemble régi par un système de lois mécaniques. Le problème du hasard se réduirait simplement à un problème de complexité, et la prévision historique serait affectée du facteur hasard au même titre que du facteur complexité

Mais le problème mérite d'être étudié de plus près. Il faut distinguer entre le *hasard statistique* et le *hasard individuel*, dont les coefficients d'action doivent être appréciés différemment dans l'histoire¹.

Le hasard statistique joue dans les phénomènes régis par des lois physiques, en tant que lois statistiques, exprimant le résultat moyen d'un grand nombre d'actions. Telles sont certaines lois qu'on établit dans la Thermodynamique, la Théorie cinétique des gaz, l'Atomistique et diverses branches de la chimie physique. Les prédictions résultant de l'application de ces lois expriment des probabilités qui présument la possibilité des écarts. Pour beaucoup de savants, *toutes* les lois physiques qui régissent les phénomènes visibles sont des lois statistiques. Le déterminisme exprimé par ces lois ne serait qu'un déterminisme probabiliste. Mais derrière ce déterminisme probabiliste de l'histoire visible se cacherait un autre déterminisme, celui des particules, à l'échelle moléculaire et atomique, ou de l'histoire invisible.

Les deux déterminismes doivent être concordants. En général, les physiciens admettent que le déterminisme de la réalité invisible est un déterminisme dynamique rigoureux. Chaque atome, chaque molécule suivrait une trajectoire rigoureusement déterminée qui

1. Comp. J. Delevsky, *Le hasard dans la nature et dans l'histoire*, « Revue Philosophique », 1935, n^{os} 7-8.

obéirait aux lois de la dynamique. L'impossibilité pratique d'étudier les mouvements individuels d'un nombre immense de particules nous oblige d'étudier le résultat global suivant le procédé probabiliste. Le déterminisme probabiliste exprimerait approximativement le résultat global du phénomène complexe obéissant, dans son histoire invisible, à un déterminisme dynamique rigoureux. La probabilité apparente ne serait qu'un certain aspect de la certitude inaccessible dans son intégralité. C'est ainsi, par exemple, que Henri Poincaré et Max Planck envisagent le problème.

Mais on peut se tenir également à une autre conception qui ignore complètement le déterminisme rigoureux des phénomènes à l'échelle atomique. « On pourrait aller plus loin, dit M. Émile Borel, et imaginer que, parmi les milliards de milliards de molécules qui composent une petite masse gazeuse, quelques-unes soient soumises à des lois absolument différentes des lois que nous connaissons, ou même ne soient soumises à aucune loi et se comportent comme si elles étaient douées de libre arbitre au sens le plus naïf de ce terme; le déterminisme des phénomènes accessibles à nos observations n'en serait pas affecté; les lois physiques n'auraient à subir aucune modification. De même, l'hypothèse que les individus sont doués du libre arbitre n'influe pas sur les lois de la statistique¹. » Il est vrai que cette espèce de « liberté » — des molécules ou des hommes — serait limitée, comprise entre certaines limites.

La question du déterminisme probabiliste s'est posée avec force dans l'étude des phénomènes de transmutations radioactives. Sur 2.750 atomes de radium un atome se décompose en une année. Cette explosion dépend-elle de l'âge de l'atome? Si la vie de chaque atome avait, comme un organisme, une durée déterminée, si les atomes vieillissaient et mouraient après avoir atteint un certain âge, ils auraient une loi de mortalité, d'après laquelle la survie probable des atomes décroîtrait avec l'âge, comme chez les hommes et même les automobiles : les lois de Gompertz et de Makeham dans la théorie mathématique des assurances. Mais l'hypothèse du vieillissement des atomes radioactifs est moins probable que cette autre que M. Langevin exprime ainsi : « L'atome ne vieillit pas, il meurt seulement par suite d'accidents dus à un hasard interne. » D'après M. A. Debierne, « la loi élémentaire des transformations

1. Émile Borel, *Le Hasard*, Paris, Félix Alcan, 1920, p. 292 et suiv.

radioactives s'explique le plus facilement par l'intervention du hasard, elle a la forme d'une loi statistique..... L'hypothèse la plus simple que l'on puisse faire, qui paraît en même temps la plus satisfaisante, est de supposer que dans chaque atome il existe un élément de désordre interne¹ ». Avec la théorie classique, l'évolution de chaque atome ne peut être considérée comme déterminée, en tant qu'imprévisible. M. Émile Borel en conclut : « Il paraît donc nécessaire de soumettre la notion même de déterminisme scientifique à une critique nouvelle. Les lois expérimentales de la radio-activité prouvent que le déterminisme global des phénomènes radio-actifs est rigoureux ; mais nous ne savons pas si ce déterminisme global peut être regardé comme la synthèse d'un grand nombre de déterminismes partiels (c'est notre première hypothèse) où l'évolution de chaque atome serait déterminée, ou si au contraire il est simplement la résultante statistique de phénomènes individuellement imprévisibles et présentant tous les caractères de phénomènes entièrement fortuits, sur chacun desquels nous ne savons agir en aucune manière. » Et il dit ailleurs : « Ces lois physiques, considérées comme lois statistiques, seraient les mêmes si l'on modifiait les lois moléculaires, si l'on admettait qu'un certain nombre de molécules ne se comportait pas exactement comme les autres molécules. Il y a un très large champ d'hypothèses différentes possibles, qui donnent les mêmes résultats à notre échelle : on pourrait même supposer chez certaines molécules la liberté d'indifférence, au sens le plus naïf de ces mots, sans altérer les lois à notre échelle². » S'il en est ainsi, l'imprévisibilité des phénomènes à l'échelle moléculaire n'est plus d'ordre purement technique, car la base même d'une prévision exacte, qui réside sur la reconnaissance d'un déterminisme rigoureux, y fait défaut.

On peut encore admettre que la différence entre le monde macroscopique et le monde microscopique est simplement relative, que la réalité invisible qui est microscopique à l'échelle humaine est macroscopique par rapport à une réalité invisible d'un ordre

1. A. Debierne, *Recherches sur les phénomènes de radio-activité*, Paris, 1914, p. 233-234. — Comp. L. v. Bortkiewicz, *Die radioactive Strahlung als Gegenstand wahr-scheinlichkeits-theoretischer Untersuchungen*, Berlin, 1913, p. 66-67.

2. Emile Borel, *Les lois physiques et les Probabilités*, « Revue Scientifique », 23 avril 1927.

supérieur, et que, la réalité, bien que discontinue, étant divisible dans un certain ordre hiérarchique à l'infini, on se trouve devant un nombre infini de réalités, chacune étant successivement macroscopique par rapport à la suivante. A chaque degré de macroscopie correspondrait un ensemble de lois statistiques de caractère probabiliste, qui exprimerait par conséquent un déterminisme probabiliste. Selon cette conception, les phénomènes physiques, à tous les degrés de leur visibilité ou invisibilité, échapperaient à tout déterminisme rigoureux, qui serait donc complètement insaisissable et, de plus, indémontrable. Aucune technique scientifique ne saurait éliminer une indétermination, qui se manifesterait dans la nature même des choses. Ainsi la prévision historique rigoureuse se heurterait partout, même dans les confins imaginables du monde, aux deux pôles de l'Infini, aux pôles de l'infiniment grand et de l'infiniment petit, au hasard statistique. La prévision serait partout probabiliste.

En ce qui concerne le hasard individuel, il échappe à la loi des grands nombres. Un tel hasard, avec ses conséquences, ne peut être prévu par les procédés statistiques, car ceux-ci ne fournissent que la moyenne d'un grand nombre d'actions fortuites, et les lois statistiques sont impuissantes à déterminer un cas isolé. Dans le monde physique, un hasard individuel ne peut être prévu longtemps avant la rencontre des deux séries indépendantes. Si la marche des deux séries était connue d'avance, celles-ci formeraient essentiellement une série totalisée, et la prévision historique ne pourrait rencontrer que des difficultés d'ordre technique, sous des réserves exposées précédemment (par exemple dans le cas d'un choc entre deux astres en mouvement). Dans le cas où une série quelconque ne commence à se manifester que peu de temps avant la rencontre d'une autre série, la prévision ne devient possible qu'au commencement même du processus constituant le hasard, sauf difficultés techniques et toujours sous réserves de principe : tel est par exemple un tremblement de terre qui détruit une île (le cas de Krokotoa) ou, par contre, en fait surgir une. Si l'une des séries est complètement inconnue avant la rencontre, la prévision devient impossible, cette impossibilité pouvant être d'ordre technique (par exemple l'apparition soudaine d'une *Nova*). Si la prévision de chaque série ou de l'une des séries ne peut se réaliser qu'avec un certain degré de probabilité, la prévision de

la rencontre ne peut être, à son tour, que probable. Enfin, si l'imprévisibilité de l'une des séries découle non des raisons techniques, mais des raisons intrinsèques et inhérentes à la nature même des choses, l'imprévisibilité du hasard de la rencontre des deux séries est aussi essentielle, et non d'ordre exclusivement technique.

Reste maintenant le troisième facteur qui affecte la prévision historique, dans divers domaines du monde physique, au point de vue du degré de certitude et de précision du pronostic : il s'agit de l'intervention humaine dans la marche des processus du monde physique. Comment expliquer que l'intervention de l'homme rende la prévision moins certaine et moins exacte ? Les deux facteurs complexité et hasard y jouent certes un rôle. Mais, en dehors de ces deux facteurs, dans l'intervention de l'activité humaine apparaît un nouveau motif, la causalité interne de l'activité humaine, causalité que l'esprit humain sent comme nettement distincte de celle qui est inhérente au déterminisme « rigoureux » des phénomènes du monde physique : chez l'homme, la volonté d'agir est sentie comme libre entre certaines limites, par conséquent non assujettie au déterminisme strict sans lequel une prévision inconditionnée exacte est irréalisable. Le libre arbitre serait-il une illusion ? L'illusion est nécessaire, sans elle la vie consciente serait inconcevable, la responsabilité morale et juridique serait une contradiction, un non-sens. L'homme, en tant qu'être conscient et capable de faire valoir tel ou tel motif, agit comme s'il était libre. D'autre part, la non-liberté n'est pas démontrable expérimentalement ; pour la démontrer, il faudrait reconstituer le milieu humain dans un grand nombre de copies identiques et prouver l'identité de leur évolution, ce qui est impossible. Saurait-on démontrer le déterminisme rigoureux du devenir humain par la prévision exacte de l'avenir ? Mais alors la prévision même, une fois établie, serait un nouveau facteur, un événement supplémentaire dans la trame de l'action humaine, lequel agirait sur la conscience et la volonté des acteurs du drame humain et pourrait ainsi changer le devenir prévu. Pourrait-on dire que ce serait un nouveau terme qui entrerait dans la chaîne de l'avenir prévu ? Mais on aurait alors un nouveau facteur N° 2 ; ce dernier agirait de nouveau sur la conscience et sur la volonté et changerait une fois de plus la marche des événements, défiant ainsi la prévision et la rendant

inefficace, et il en serait ainsi jusqu'à l'infini. A moins de recourir au fatalisme des tragédies grecques, ou au fatalisme musulman, opposé à tout déterminisme scientifique, on tomberait toujours dans des antinomies irrésolubles. Le déterminisme en question reste ainsi impraticable et indémontrable.

Il ne s'agit plus ici d'une difficulté d'ordre technique, que le progrès de nos connaissances et le développement de notre intellect permettraient d'écarter et de surmonter. L'imprévisibilité, l'impossibilité de prévision absolument rigoureuse et inconditionnée, est ici essentielle.

Sur ce point deux remarques s'imposent : la première concerne le rapport entre l'imprévisibilité et le déterminisme causal scientifique ; la deuxième a trait aux divers degrés de prévisibilité en rapport avec le déterminisme des phénomènes.

La prévisibilité absolue, rigoureuse et inconditionnée, d'un événement peut être invoquée comme preuve de sa nécessité causale, de son déterminisme absolu. Par contre, l'imprévisibilité d'un phénomène ne prouve nullement son indéterminisme, étant donné que l'imprévisibilité pourrait n'être que relative aux capacités intellectuelles de l'homme, à son savoir limité, elle pourrait n'être que d'ordre technique.

Le déterminisme scientifique est-il rigoureusement démontrable ? Déterminisme signifie nécessité causale dans le devenir du monde : étant donné un état du monde ou celui d'un système isolé imaginable, il en découle nécessairement un certain autre état déterminé du monde ou de ce système isolé au moment suivant, et un seul état possible. Le déterminisme rigoureux ne pourrait être « démontré », par le procédé « inductif », par l'observation ou expérimentalement, soit en observant, à des moments différents, un nombre indéfini de fois, deux états du monde absolument identiques toujours suivis, aux moments suivants, d'états absolument identiques, soit en reproduisant expérimentalement deux états absolument identiques du monde et leurs trajectoires historiques identiques. Cycles répétitionnels observés dans la Nature, ou reproduits artificiellement. Si cette observation ou cette expérimentation étaient réalisables un nombre indéfini de fois, on devrait constater ou une répétition identique, ou une non-identité. Dans le premier cas le déterminisme causal serait démontré, dans le second il serait réfuté. Or, l'observation et l'expérience

en question étant irréalisables, le déterminisme rigoureux reste philosophiquement indémontrable.

Il est, d'autre part, évident que l'imprévisibilité d'un événement physique, *en elle-même*, ne saurait être invoquée comme preuve de son indéterminisme, ou de la carence de causalité, de l'absence de nécessité dans le comportement du système qui englobe l'événement en question. Et si l'imprévisibilité est d'ordre technique, elle ne démontre que notre ignorance, notre incapacité, les limitations de notre intellect, mais non une « liberté » inhérente à la nature des choses. Celle-ci resterait aussi indémontrable.

On sait que dans sa théorie de la Mécanique Quantique, Heisenberg a formulé le « principe d'indétermination », ou « principe d'incertitude », d'après lequel la prévision exacte du comportement d'un électron, et, en général, la prévision des phénomènes du monde atomique est impossible. Si Δp est l'incertitude liée à la détermination de l'impulsion d'un électron et Δq l'incertitude affectant la détermination de la position du même électron, on a, d'après la formule de l'incertitude, $\Delta p \cdot \Delta q \geq h$. Il résulterait de cette formule que plus la précision devient grande en ce qui concerne la position de l'électron, plus devient grande l'incertitude en ce qui concerne sa vitesse, et réciproquement (h est la constante de Planck). Il semblerait donc que la description et la prévision exacte des événements à l'échelle « microscopique » ne soient pas réalisables. On ne sort pas du domaine des probabilités.

On a souvent interprété le « principe d'indétermination » dans le sens de l'indéterminisme. C'est ainsi qu'a surgi la « crise de la causalité ». Ainsi, le professeur A. Haas écrit : « Puisqu'une description précise des faits, au sens classique, se montre impossible, le principe de causalité perd naturellement sa signification pour la physique. En effet, ce principe, d'après lequel la connaissance précise du présent permet un calcul exact de l'avenir, n'a plus de sens si une connaissance précise du présent est inaccessible. D'après la conception de la mécanique quantique, la causalité est à nier pour les processus élémentaires de la physique, et à affirmer seulement pour la probabilité qui règle ces processus individuels sur des bases statistiques¹. » C'est à peu près dans

1. Arthur Haas, *La Mécanique Ondulatoire et les nouvelles théories quantiques*, Paris, Gauthier-Villars, 1930, p. 99.

les mêmes termes que s'exprime le physicien italien S. Castelnovo. Et Sir Arthur Eddington vient de déclarer : « Le déterminisme a disparu graduellement de la physique théorique ¹. » Dans cette affirmation le célèbre astronome anglais s'appuie sur d'autres raisonnements, mais aussi sur le principe d'indétermination ; il fait ressortir que *l'onus probandi* du déterminisme incombe aux déterministes mêmes, ce qui est exact, mais ce qui ne constitue pas une réfutation du déterminisme.

Max Planck, Albert Einstein, Paul Langevin s'opposent à de telles déductions. M. Langevin critique les conséquences les plus « tendancieuses » qu'on serait enclin à tirer de la Mécanique Quantique « dans le sens d'une limitation du déterminisme, et d'une liberté de l'électron choisissant entre diverses possibilités ». Il écrit : « Lorsque la nature laisse une question sans réponse il faut incriminer, non pas l'attitude scientifique et déterministe en général, mais la forme particulière sous laquelle la question est posée ². »

Toutefois, le principe d'indétermination trouve des interprétations favorables à la thèse anti-déterministe parmi les physiciens les plus éminents. On y rattache la question du libre arbitre. M. Louis de Broglie se demande si « les nouvelles idées peuvent contribuer, dans une certaine mesure, à combler le fossé qui jusqu'ici semblait séparer artificiellement le monde matériel du monde moral, auquel l'idée d'un rigoureux déterminisme causal paraît si difficilement applicable ». Niels Bohr pose la question de l'application du principe d'indétermination à l'activité de l'homme et aux phénomènes de la conscience humaine. P. Jordan fait ressortir que les réactions organiques qui dirigent les réactions grossièrement macroscopiques du corps animal et humain se présentent fréquemment comme douées d'une finesse qui atteint celle du domaine atomique ; s'il en est ainsi, elles ne sont pas soumises à la causalité déterministe. L'affirmation du déterminisme, comme négation du libre arbitre, se trouve alors réfutée par les constatations de la physiologie et de la physique atomique. La conception de « l'homme-machine » serait inexacte.

1. Eddington, *Sur le problème du déterminisme*, Paris, Hermann et C^{ie}, 1934, p. 3 et suiv.

2. P. Langevin, *Y a-t-il une crise du déterminisme?* « Le Mois », 1931, N^o 2, p. 271.

Tandis que, dans le domaine de la nature inorganique, l'acausalité statistique des réactions atomiques conduit à conclure que, dans les dimensions macroscopiques, s'établit pratiquement une causalité parfaite, — par contre dans la nature organique, l'acausalité de certaines réactions atomiques se trouverait renforcée et élevée à l'état d'acausalité effective macroscopique. Selon ces vues, une conception déterministe des processus de la vie ne pourrait être soutenue même si l'on admettait que les réactions organiques présentent seulement une sommation de réactions atomiques qui obéissent aux lois ordinaires de la physique atomique. « Le caractère révolutionnaire de la Théorie des Quanta se montre, écrit P. Jordan, loin au delà de la physique, dans les points de vue complètement nouveaux qu'elle introduit dans l'examen des problèmes les plus profonds de la philosophie, du libre arbitre et du rapport existant entre le sujet et l'objet, et dans les impulsions pénétrantes qu'elle est susceptible de communiquer à la biologie et à la psychologie¹. »

Le professeur A. H. Compton a formulé des suggestions analogues tendant à édifier la thèse du libre arbitre sur le principe de l'indétermination, ce qui a provoqué certaines controverses dans le camp des hommes de science américains. Il en est de même pour Eddington.

Il est fort douteux que le principe d'indétermination ait rendu ou puisse rendre un service à l'indéterminisme, conçu comme négation de la nécessité causale rigoureuse, ou à la thèse du libre arbitre, qui est susceptible de se défendre par d'autres moyens. Une aide semblable de la Mécanique Quantique serait plutôt gênante ou même compromettante pour les thèses considérées. D'abord, les théories de la Mécanique Quantique (de Heisenberg), si intéressantes qu'elles soient, sont liées à des hypothèses problématiques et à des procédés physico-mathématiques un peu hardis qui appellent des réserves fort légitimes. On connaît le destin des théories scientifiques. On sait que telles hypothèses scientifiques, qui se sont montrées postérieurement inexactes, ont cependant permis de faire

1. N. Bohr, *Wirkungsquantum und Naturbeschreibung*, « Die Naturwissenschaften », 28 Juni 1929, p. 483-486. Comp. Niels Bohr, *La Théorie Atomique et la description des phénomènes*, Paris, Gauthier-Villars, 1932, p. 20-21. — P. Jordan, *Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie*, « Die Naturwissenschaften », 1 November 1932, p. 815-827.

progresser la science et même d'aboutir à des découvertes. Une théorie ne doit jamais être considérée comme le dernier mot, comme un arrêt irrévocable de la science. La discipline de la Mécanique Quantique est, d'autre part, susceptible de progresser et de se perfectionner. Et M. von Laue met sérieusement en garde contre certaines conclusions gnoséologiques tirées de cette théorie¹.

Mais, en admettant que la théorie quantique soit exacte et que les relations de l'incertitude de Heisenberg soient irréprochables au point de vue physico-mathématique, peuvent-elles, doivent-elles être interprétées dans le sens de la négation du déterminisme causal, de la nécessité causale des phénomènes?

Le principe d'indétermination n'implique aucune démonstration ni aucune constatation qui s'oppose au déterminisme des phénomènes. Il est impuissant à démontrer que le déterminisme rigoureux n'est pas inhérent à la nature des choses. Il dit seulement que dans le monde atomique ce déterminisme ne peut être décelé *par nous*, étant donné l'impossibilité de décrire ou de prévoir rigoureusement les phénomènes, à l'échelle microscopique, en appliquant une technique, toujours affectée d'incertitude (le fait de Δp et Δq). Comme l'a dit un savant américain, dans certaines interprétations on ne tient pas compte de la différence entre ce qui est *indéterminable* et ce qui est *indéterminé*². Il ne s'agit donc pas ici d'une carence de déterminisme inhérente à la nature même des choses, mais de difficultés *d'ordre technique*, du même genre, quoique sur un autre plan, que celles dont s'occupait et que s'efforçait d'interpréter Boussinesq.

Ces difficultés d'ordre technique pourraient n'être que provisoires; elles seraient susceptibles d'être éliminées par des procédés encore inconnus et que la Mécanique Quantique ne saurait pressentir actuellement. Et si elles se montraient absolument insurmontables pour l'homme, cela prouverait seulement l'imprévisibilité des phénomènes à l'échelle atomique et *l'indémontrabilité* du déterminisme *pour nous* (non sa *réfutation* comme le croit J. B. S. Haldane³). Mais ces difficultés pourraient ne pas exister pour un autre être

1. M. V. Laue, *Zu den Erörterungen über Kausalität*, « Die Naturwissenschaften », 16/23 Dezember 1932, p. 916.

2. W. A. Noyes, *The Uncertainty Principle*, « Science », de New-York, Dezember 11, 1931, p. 595.

3. *Determinism*, « Nature », February 27, 1932, p. 326.

imaginable. La constante h pourrait n'être qu'une *constante relative* ; elle pourrait être, à la rigueur, une variable, qui se stabiliserait à *peu près*, dans certaines conditions, sans nous laisser apercevoir ses variations. La discontinuité de l'énergie pourrait se manifester dans une gamme hiérarchique de constantes relatives, h , h' , h'' , etc., peut-être jusqu'à l'infini. S'il en était ainsi, le principe d'indétermination, qui joue pour l'homme, ne jouerait pas pour des êtres raisonnables de dimensions atomiques, sous-atomiques, etc., du genre du « démon de Maxwell », et appliquant sur une autre échelle les formules en question, modifiées convenablement ; ainsi l'indétermination, si elle devait subsister, serait reléguée à l'infini.

Qu'il s'agisse, dans notre cas, de difficultés d'ordre technique, cela résulte encore d'un autre raisonnement de Heisenberg au sujet de l'observation directe du mouvement d'un électron, lequel serait troublé par le procédé même de l'observation : « Par orbite nous entendons la suite dans le temps des points de l'espace où l'électron est observé au cours de son mouvement, comme les dimensions d'un atome, dans l'état stationnaire le plus bas, sont de l'ordre de grandeur de 10^{-8} cm., l'orbite de l'électron ne pourra être déterminée que par des mesures dont la précision atteindra au moins 10^{-9} cm. On utilisera donc, par exemple, de la lumière dont la longueur d'onde sera $\lambda \sim 10^{-9}$ cm. Mais un seul photon d'une telle radiation suffit à chasser l'électron hors de l'atome (effet Compton). On ne peut ainsi observer qu'un point isolé de l'orbite¹. » Or, dans toute observation, dans toute expérience, de l'ordre macroscopique ou de l'ordre microscopique, il y a interférence entre l'expérimentateur et l'objet examiné. On a dit que lorsqu'on allume une allumette à Paris, quelque chose change sur Sirius. On ne peut jamais réaliser l'isolement absolu d'un phénomène ou d'un objet étudié, et la technique scientifique tend à réaliser le maximum d'isolement « humainement » possible dans les conditions données. Seulement, si l'on se tient à la conception de Heisenberg, le pouvoir technique de l'homme ne saurait transgresser la limite indiquée par la constante h . Ici, s'appliquent toutes les remarques faites précédemment. M. Louis de Broglie écrivait : « On a pu dire d'une façon

1. W. Heisenberg, *Les principes physiques de la Théorie des Quanta*, Paris, Gauthier-Villars, 1932, p. 26.

pittoresque qu'il existait dans le mur du déterminisme physique une fissure dont la constante de Planck mesurait la largeur. La constante h trouve ainsi une interprétation assez imprévue : elle serait la borne qui marque au déterminisme sa limite¹. » On pourrait énoncer que c'est la borne technique de la prévisibilité qui est marquée par le principe d'incertitude, toujours si l'on admet que ces théories sont vraies.

C'est le caractère d'imprévisibilité, ou plutôt de prévisibilité limitée, qui nous intéresse dans cet examen. Le déterminisme se montre, sinon réfuté, du moins indémontrable. Mais, qu'il s'agisse de difficultés d'ordre technique, de limites imposées par les capacités de notre intellect, ou d'obstacles apportés par la nature intime des choses (comme le sentiment de la liberté), la prévisibilité, rigoureuse et inconditionnée, donc non limitée, se présente comme une impossibilité. Le déterminisme des phénomènes, tel que nous le connaissons, est un déterminisme relatif, un déterminisme limité, ou confiné à de certaines limites, un déterminisme approché et probabiliste. Si le déterminisme se présentait, comme intégral, illimité et rigoureux, la prévisibilité rigoureuse pourrait être intégrale. Si le déterminisme faisait complètement défaut, toute prévision, toute science, et la vie même — qui est une suite de répétitions et d'adaptations à des répétitions — seraient impossibles. Nous nous trouvons pratiquement entre ces deux cas extrêmes. La prévisibilité est possible, mais elle n'est qu'approchée et probable.

La facilité de la prévision, sa marge, son degré de précision ou d'approximation, son caractère de probabilité varient suivant le domaine de la réalité où s'exerce la prognose. L'éventualité d'une intervention humaine dans le cours des événements en un domaine historique, comme par exemple celui de l'histoire dans la nature, est susceptible d'affecter considérablement la prévisibilité du contenu de ce domaine, car cette intervention introduit un nouveau facteur d'incertitude, lié d'une façon permanente à la nécessité d'attribuer à la liberté humaine un certain rôle jouant dans les événements à prévoir. Cette liberté peut être considérée par un déterministe comme une illusion, par un partisan du libre arbitre comme un fait réel. Mais, en restant en dehors de cette contro-

1. Louis de Broglie, *La crise du déterminisme dans la physique actuelle*. « Le Correspondant », 10 Juin 1931, p. 781. — Comp. la *Préface* de M. Louis de Broglie au livre de W. Heisenberg.

verse éternelle, on est amené à reconnaître que ce nouveau facteur, qui n'est pas d'ordre exclusivement technique, crée une nouvelle marge d'incertitude qui affecte l'amplitude de la probabilité relative au devenir d'un système ou d'une combinaison et rend la prévision plus aléatoire. On s'explique ainsi que là où, dans le domaine de l'histoire dans la Nature, l'activité humaine peut intervenir, la prévision devienne moins sûre, et que son caractère d'approximation et de probabilité, excluant une nécessité rigoureuse et inéluctable, s'accroisse davantage. L'approximation est moins serrée et l'amplitude de la probabilité s'élargit. Si l'on étend la conception de la probabilité à la prévision de l'événement même aussi bien qu'à son aspect et à ses particularités, on peut dire que, dans la prédiction de l'événement, la certitude perd de plus en plus le terrain, pour faire la place à une probabilité, de plus en plus vague¹.

IV

Le caractère probabiliste des prévisions inhérentes à l'histoire dans la Nature découle essentiellement du fait que, dans la Nature, les phénomènes ne se répètent jamais identiquement, que leurs répétitions ne sont qu'approximatives, et que le retour d'un événement plus ou moins complexe ne peut jamais être attendu comme identique aux événements antérieurs connus. Les lois de la nature même ne pourraient être considérées que comme règles approchées exprimant des probabilités.

On sait que certaines lois physiques ont été interprétées comme des *lois dérivées*, ou *lois résultantes*, exprimant le résultat moyen d'un grand nombre d'événements, régis par la *loi du hasard*. Ce seraient des *lois statistiques* formulant des *probabilités* de certaines répétitions globales. Il est possible que *toutes les lois* régissant les phénomènes du monde « macroscopique » ne soient que des lois statistiques, bien que certaines autorités, comme par exemple Max Planck, fassent une distinction entre les lois statistiques et les lois dynamiques. Reste à savoir si les lois du monde

1. Dans un discours sur *Les Conditions de la Certitude* prononcé en 1924, M. Charles Richet faisait ressortir qu'il n'y a pas *une* certitude, mais *des* certitudes très diverses (*L'Intelligence et l'Homme*, Paris, Alcan, 1927, p. 52 et suiv.). — Au point de vue *mathématique* (Calcul des Probabilités) il n'y a qu'*une* certitude qui correspond à la probabilité = 1. Les diverses certitudes de Charles Richet seraient alors divers degrés de probabilité, qualifiée par Cournot de *probabilité subjective*.

« microscopique » (atomique, électronique, etc.) sont aussi des lois statistiques et expriment des probabilités. On pourrait soutenir qu'une telle réduction des lois à des probabilités statistiques s'étend sur toute la hiérarchie de mondes visibles et invisibles dans différents ordres de petitesse, jusqu'à l'infini. Quelle que soit notre opinion sur la possibilité d'appliquer un caractère probabiliste à l'intégralité des lois régissant les domaines divers de la réalité aux différents degrés de leur invisibilité, il est légitime d'étendre la conception probabiliste à la totalité du monde macroscopique, du moins à titre d'« extrapolation ». La prévision historique concernant le monde macroscopique se réduirait ainsi à une série de probabilités, étant donné que notre connaissance de ce monde n'aurait qu'un caractère probabiliste.

Laplace lui-même a exprimé ce point de vue dans son *Essai philosophique sur les probabilités*. « On peut même dire, écrit-il, à parler en rigueur, que presque toutes nos connaissances ne sont que probables; et dans le petit nombre des choses que nous pouvons savoir avec certitude, dans les sciences mathématiques elles-mêmes, les principaux moyens de parvenir à la vérité, l'induction et l'analogie, se fondent sur les probabilités, en sorte que le système entier des connaissances humaines se rattache à la théorie exposée dans cet essai¹. » La même idée a été exprimée par d'autres mathématiciens qui travaillaient dans le domaine du Calcul des Probabilités. Tels sont, par exemple, Condorcet, Poisson, Quetelet, Cournot, Henri Poincaré².

La « certitude » serait ainsi l'apanage d'une infime partie de nos connaissances, évidentes par elles-mêmes ou démontrables à l'aide de vérités directement évidentes. Toute la connaissance humaine ne serait qu'un système de probabilités. L'induction et l'analogie dans la science ne fournissent qu'une série de probabilités. Et une prévision inconditionnée ne serait qu'une forte proba-

1. Laplace, *Théorie Analytique des Probabilités* (tome VII des *Œuvres*, 1886), Introduction, p. v.

2. Condorcet, *Essai sur l'application de l'Analyse à la probabilité des décisions*, Paris, 1785, p. CLXXXIX. — Poisson, *Recherches sur la probabilité des jugements*, Paris, 1837, p. 35. — Cournot, *Essai sur les fondements de nos connaissances*, t. I, p. 171. — Quetelet, *Physique sociale*, 1869, t. I, p. 135. — Henri Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Paris, 1902, Introduction et chap. XI. — Comp. Ellery W. Davis, article sur le livre de Joseph Bertrand dans le *Bulletin of the New York mathematical Society*, October, 1901.

bilité. C'est une conception qui se rapproche, à son tour, du système probabiliste qui trouva son développement dans une des plus originales des écoles philosophiques de la Grèce antique : la Nouvelle Académie, ou la Troisième Académie, dont les représentants les plus brillants furent Archésilas et surtout Carnéade, et le disciple le plus zélé à Rome, Cicéron. Carnéade enseignait que l'homme ne peut posséder la vérité absolue, que la connaissance n'est que plus ou moins probable. Ces critiques modernes qui ont restauré l'enseignement de Carnéade, y trouvent des éléments extrêmement précieux. Cournot rattache son probabilisme philosophique aux conceptions de la Nouvelle Académie. La théorie de Charles Renouvier présente des points de contact avec les vues de Carnéade. Tarde rejoint sur certains points Cournot et Renouvier. Et deux remarquables connaisseurs de la philosophie antique, Martha et surtout Brochard, montrent que le point de vue probabiliste de Carnéade n'est autre que celui de notre science exacte¹.

Toutefois, dans les questions qui nous intéressent, l'idée probabiliste se présente sous différents aspects.

Il y a, d'abord, la *probabilité mathématique*, qui, en tant qu'elle relève de la *loi des grands nombres*, est une *probabilité objective*. D'après Laplace, la probabilité est relative en partie à notre ignorance, en partie à nos connaissances. Cournot estime que cette définition de Laplace est inexacte : la probabilité mathématique n'est pas d'ordre subjectif ; elle ne dépend pas de la limitation de nos connaissances, mais de l'essence même des choses, de la nature de leurs rapports, indépendamment de la connaissance que nous en avons². Ce qui est certain, c'est que la probabilité mathématique peut s'exprimer par un *nombre* ; que ce nombre s'objective dans la statistique d'un grand nombre d'expériences ou d'observations ; qu'il s'explique par l'indépendance des événements parmi lesquels il n'y a pas de catégories plus privilégiées

1. Cournot, *Essai sur les fondements de nos connaissances*, t. II, p. 335-337, et *Considérations sur la marche des idées*, t. I, p. 278-279. — Ch. Renouvier, *Essais de critique générale*, t. II, p. 373 et suiv., p. 398-399. — Tarde, *Logique sociale*, Paris, 1895, chap. I, et *La croyance et le désir*, « Revue Philosophique », X, 1880, p. 171-172. — C. Martha, *Études morales sur l'antiquité*, 2^e édit., 1889, p. 67-68. — Brochard, *Les sceptiques grecs*, Paris, 1887, pp. 404 et 424. — Comp. F. Mentré, *Cournot et la renaissance du probabilisme*, Paris, 1908.

2. Cournot, *Chances et probabilités*, p. 438. — *Essai sur les fondements de nos connaissances*, t. I, p. 62. — *Traité de l'enchaînement des idées*, t. I, p. 102. — *Considérations sur la marche des idées*, t. I, p. 1-2.

les unes que les autres au point de vue de répétitions possibles. La raison de cette objectivation est qu'*il n'y a pas de raison* pour que les événements se produisent autrement qu'on ne le suppose dans le Calcul des Probabilités : le *hasard* consiste, sous une forme élémentaire, en ce qu'il n'y a pas de raison d'admettre qu'un événement se produise plutôt qu'un autre. Dans le cas contraire, il y aurait des événements privilégiés; le hasard ne jouerait pas alors, mais une causalité. Il n'y a donc ici ni mystère ni téléologie¹. C'est la « loi de la raison suffisante » qui objective et matérialise la probabilité mathématique.

Il y a, ensuite, la *probabilité philosophique*; elle ne s'objective pas en chiffres et n'est pas étroitement liée à la loi des grands nombres. Elle caractérise notre tendance psychologique à apprécier la véracité, l'exactitude et la précision de nos généralisations, de nos constatations et de nos connaissances en général. La conception de cette probabilité constitue la base du probabilisme philosophique niant théoriquement la certitude absolue, bien que la reconnaissant dans la pratique courante.

Il y a, enfin, la *probabilité historique*, ou plutôt la *probabilité dans la prévision historique*; conception suivant laquelle toute prévision historique n'a jamais un caractère de certitude absolue. Les prévisions historiques ne peuvent énoncer que des approximations et des probabilités. Ces probabilités varient suivant le domaine de la réalité historique. Elles peuvent se chiffrer, au cas d'une probabilité statistique soumise à la loi des grands nombres, ou se traiter, par analogie, avec les procédés de la probabilité mathématiques, mais sans revêtir une forme chiffrée; elles peuvent enfin exprimer une appréciation comportant un élément subjectif et ayant une valeur d'indication quant à *l'attente* d'un événement futur, qui présente ou un intérêt théorique, ou un intérêt d'ordre pratique. En ce qui concerne l'histoire dans la nature, la prévision historique sera d'autant moins sûre que le domaine auquel elle s'applique est plus complexe, plus soumis au hasard agissant et plus accessible à l'intervention de l'activité humaine.

Ce qui est vrai pour l'histoire dans la nature s'applique encore plus manifestement à l'histoire humaine.

1. Hoëné Wronski, *La loi téléologique du hasard*, 1833 (2^e édit., 1890, Paris). — Dormoy, *Théorie mathématique des assurances sur la vie*, Paris, 1878, t. I, p. 24. — Comp. Henri Poincaré, *Calcul des probabilités*, 1894, p. 11.



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



F. ENRIQUES

De l'Académie Dei Lincei
Professeur à l'Université de Rome

**PHILOSOPHIE ET HISTOIRE
DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE**

Ch. FABRY

Membre de l'Institut
Professeur à la Faculté des Sciences

OPTIQUE

E. FAURÉ-FREMIET

Professeur au Collège de France

BIOLOGIE

(Embryologie et Histogenèse)

Ch. FRAIPONT

Professeur à la Faculté des Sciences
de Liège

**PALÉONTOLOGIE
ET LES GRANDS PROBLÈMES
DE LA BIOLOGIE GÉNÉRALE**

Maurice FRÉCHET

Professeur à la Sorbonne

ANALYSE GÉNÉRALE

M. L. GAY

Professeur de Chimie-Physique
à la Faculté des Sciences de Montpellier

THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE

J. HADAMARD

Membre de l'Institut

**ANALYSE MATHÉMATIQUE
ET SES APPLICATIONS**

Victor Henri

Professeur à l'Université de Liège

PHYSIQUE MOLÉCULAIRE

A. F. JOFFE

Directeur de l'Institut Physico-Technique
de Leningrad

PHYSIQUE DES CORPS SOLIDES

A. JOUNIAUX

Professeur à l'Institut de Chimie de Lille

**CHIMIE ANALYTIQUE
(Chimie-Physique, minérale
et Industrielle)**

P. LANGEVIN

Membre de l'Institut
Professeur au Collège de France

I. — RELATIVITÉ

II. — PHYSIQUE GÉNÉRALE

Louis LAPIQUE

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne

**PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE
DU SYSTÈME NERVEUX**

A. MAGNAN

Professeur au Collège de France

**MORPHOLOGIE
DYNAMIQUE
ET MÉCANIQUE DU MOUVEMENT**

Ch. MARIE

Directeur de Laboratoire
à l'École des Hautes Études

ÉLECTROCHIMIE APPLIQUÉE

Ch. MAURAIN

Membre de l'Institut
Doyen de la Faculté des Sciences
Directeur de l'Institut de Physique du Globe

PHYSIQUE DU GLOBE

André MAYER

Membre de l'Académie de Médecine
Professeur au Collège de France

PHYSIOLOGIE

Henri MINEUR

Astronome à l'Observatoire de Paris
Maître de Recherches

ASTRONOMIE STELLAIRE

Chr. MUSCELEANU

Professeur à la Faculté des Sciences
de Bucarest

PHYSIQUE GÉNÉRALE ET QUANTA

M. NICLOUX

Professeur à la Faculté de Médecine
de Strasbourg

**CHIMIE ANALYTIQUE
(Chimie organique et biologique)**

P. PASCAL

Correspondant de l'Institut
Professeur à la Sorbonne et à l'École
Centrale des Arts et Manufactures

**CHIMIE
GÉNÉRALE et MINÉRALE**

Ch. PEREZ

Professeur à la Sorbonne

BIOLOGIE ZOOLOGIQUE

J. PERRIN

Membre de l'Institut
Prix Nobel de Physique
Professeur à la Faculté des Sciences
de Paris

ATOMISTIQUE

CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.

Marcel PRENANT

Professeur à la Sorbonne

I. — BIOLOGIE ÉCOLOGIQUE

II. — LEÇONS DE ZOOLOGIE

A. REY

Professeur à la Sorbonne

HISTOIRE DES SCIENCES

Y. ROCARD

Maître de Recherches

**THÉORIES MÉCANIQUES
(Hydrodynamique-Acoustique)**

R. SOUEGES

Chef de travaux
à la Faculté de Pharmacie

**EMBRYOLOGIE
ET MORPHOLOGIE VÉGÉTALES**

TAKAGI

Professeur à l'Université Impériale de Tokyo

MATHÉMATIQUES GÉNÉRALES

TAMIYA-(HIROSHI)

Membre du Tokugawa Biologisches
Institut Tokio

BIOLOGIE (Physiologie cellulaire)

A. TCHITCHIBABINE

Membre de l'Académie des Sciences
de l'U. R. S. S.

**CHIMIE ORGANIQUE
(Série hétérocyclique)**

Georges TEISSIER

Sous-directeur de la Station
Biologique de Roscoff

**BIOMÉTRIE
ET STATISTIQUE BIOLOGIQUE**

G. URBAIN

Membre de l'Institut
Professeur à la Faculté des Sciences
de Paris

THÉORIES CHIMIQUES

Pierre URBAIN

Maître de Conférences à l'Institut
d'Hydrologie et de Climatologie
de Paris

GÉOCHIMIE

Y. VERLAINE

Professeur à l'Université
de Liège

PSYCHOLOGIE ANIMALE

P. WEISS

Membre de l'Institut
Directeur de l'Institut de Physique
de l'Université de Strasbourg

MAGNÉTISME

R. WURMSER

Directeur du Laboratoire
de Biophysique
de l'École des Hautes Études

BIOPHYSIQUE

Actualités Scientifiques et Industrielles

290. OTTO NEURATH. Le développement du cercle de Vienne et l'avenir de l'empirisme logique.	10 fr.
291. RUDOLF CARNAP. Le problème de la logique de la science. Science formelle et science du réel.	8 fr.
292. RENÉ FABRE. Toxiques minéraux. Généralités. Arsénio. Antimoine.	12 fr.
293. RENÉ FABRE. Toxiques minéraux. Mercure. Bismuth. Plomb. Thallium.	12 fr.
294. RENÉ FABRE. Toxiques minéraux. Cuivre. Zinc. Chrome. Nickel. Manganèse. Baryum. Radium. Métalloïdes divers.	15 fr.
295. M. PRENANT. Protozoaires. Infusoires ciliés.	15 fr.
296. M. PRENANT. Flagellés.	12 fr.
297. H.-J. MARESQUELLE. Problèmes du déterminisme génétique du sexe chez les plantes.	12 fr.
298. R. SUTRA. Contribution à l'étude de la constitution de l'amidon.	15 fr.
299. W. BELOUSSOFF. Les problèmes de la géologie et de la géochimie de l'hélium.	10 fr.
300. VÉRA DANTCHAKOFF. Déterminisme et réalisation dans le devenir du sexe.	18 fr.
301. R. CASTRO. Progrès dans la technique de la métallographie microscopique.	12 fr.
302. J. FAVARD. Les théorèmes de la moyenne pour les polynômes.	15 fr.
303. PIERRE HATT. Les mouvements morphogénétiques dans le développement des vertébrés.	12 fr.
304. J. DELEVSKY. La prévision historique dans la nature.	12 fr.
305. S. MANDELBROJT. Séries lacunaires.	12 fr.
306. RENÉ FABRE. Toxiques minéraux. Phosphore. Acides et alcalis. Marche générale de l'expertise.	12 fr.

Liste complète à la fin du volume